



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
MESTRADO EM TECNOLOGIA



Camila Pereira Montovani

**“Presença de fósforo e modelagem de seu comportamento evolutivo no reservatório do Tatu”**

***“Presence of phosphorus and the modeling of its evolutionary behavior in the Tatu reservoir”***

**Limeira  
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR VANESSA EVELYN COSTA CRB-8/8295  
BIBLIOTECA UNIFICADA FT/CTL  
UNICAMP

Montovani, Camila Pereira, 1981-  
M768p Presença de fósforo e modelagem de seu comportamento  
Evolutivo no reservatório do Tatu / Camila Pereira Montovani. –  
Limeira, SP : [s.n.], 2012.

Orientador: Elaine Cristina Catapani Poletti.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Bacias hidrográficas – Ribeirão do Pinhal (Limeira, SP).  
2. Impacto ambiental. 3. Modelagem matemática. 4. Simulação  
computacional. I. Poletti, Elaine Cristina Catapani.  
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Tecnologia. III. Título

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Presence of phosphorus and the modeling of its evolutionary  
behavior in the Tatu reservoir.

Palavras-chave em inglês (Keywords):

- 1- Watersheds – Ribeirão do Pinhal (Limeira, SP)
- 2- Environmental impact
- 3- Mathematical modeling
- 4- Computer simulation

Área de concentração: Tecnologia e Inovação

Titulação: Mestre em Tecnologia

Banca examinadora: Elaine Cristina Catapani Poletti, João Frederico da Costa  
Azevedo Meyer, Regina Teresa Rosim Monteiro.

Data da Defesa: 17-12-2012

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
MESTRADO EM TECNOLOGIA



Camila Pereira Montovani

**“Presença de fósforo e modelagem de seu comportamento evolutivo no reservatório do Tatu”**

**Orientador (a): Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elaine Cristina Catapani Poletti**

***“Presence of phosphorus and the modeling of its evolutionary behavior in the Tatu reservoir”***

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Tecnologia da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Tecnologia.

Área de concentração: Tecnologia e Inovação.


**Limeira  
2012**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

“Presença de fósforo e modelagem de seu comportamento evolutivo no reservatório do Tatu”

**Autor:** Camila Pereira Montovani

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elaine Cristina Catapani Poletti  
FT / UNICAMP



---

Prof. Dr. João Frederico da Costa Azevedo Meyer  
IMECC / UNICAMP



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Teresa Rosim Monteiro  
CENA / USP

*Dedico este trabalho aos meus pais, José Roberto e Ivonice, e a minha irmã, Carina.*

*Ao Vinícius por toda paciência e tolerância, por ter sentido junto comigo, todas as angústias e felicidades, acompanhando cada passo de perto da realização deste sonho.*

## Agradecimentos

Agradeço:

Primeiramente a Deus e aos amigos espirituais.

À minha mestre e orientadora, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Elaine Cristina Catapani Poletti, pela contribuição para o desenvolvimento da dissertação, pela dedicação, empenho, confiança que depositou em mim e pelas palavras de estímulo. Orientadora é uma palavra ideal para defini-la, pois é sob sua tutela que guio meus passos. Muito obrigada!

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Regina Teresa Rosim Monteiro e ao Prof<sup>o</sup> Dr. João Frederico da Costa Azevedo Meyer por aceitarem o convite para compor a banca de defesa.

À Prof<sup>a</sup> Dra<sup>a</sup> Cassiana Conegliam por ter colaborado e enriquecido este trabalho.

À Maria Antonieta Jardine Kikumoto, à Alessandra dos Santos Coelho, à Lilian Cristina Morrego Buzioli, à Miriã Rafante Bernardino e à Fernanda Gagliardi Amantini por reconhecer a importância deste trabalho em minha vida acadêmica, pela oportunidade concedida, pela confiança depositada em mim e em minha capacidade de realizar meu trabalho como funcionária da UNICAMP concomitantemente aos estudos de pós-graduação.

À Foz do Brasil, à Secretaria de Meio Ambiente (SMEA) de Limeira, à Engenharia e Pavimentação Ltda. (ENGEP) e ao Sr. Hélio Lima – ENGEP pelas informações concedidas que possibilitaram a realização deste trabalho de forma mais próxima da realidade possível.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para que este trabalho conseguisse atingir os objetivos propostos.

Obrigada!

Como dizia Antoine Saint Exupéry em sua obra prima “O Pequeno Príncipe”:

“Foi o tempo que perdeste com a tua rosa, que fez a tua rosa tão importante.”

## Resumo

A preocupação relacionada aos problemas de ordem ambiental, no mundo todo, vem crescendo de maneira rápida e acentuada, com especial atenção aos recursos hídricos - fontes essenciais à vida. Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa volta-se para um estudo de caracterização das águas do reservatório do Tatu bem como de modelagem matemática, análise e compreensão do cenário local. O reservatório do Tatu armazena as águas da bacia do ribeirão do Pinhal, Limeira-SP, que é de extrema relevância para o município, pois se trata de uma das fontes alternativas de abastecimento público do município, e tem apresentado, nos últimos anos, o elemento fósforo fora dos valores especificados pelas agências de monitoramento. Desta forma, com base em procedimentos de modelagem matemática de um sistema de equações de diferenças e de simulações computacionais desenvolvidas, cenários são gerados apresentando o comportamento evolutivo da concentração deste poluente e possibilitando uma análise qualitativa de potencial de degradação local que tem se apresentado alto, porém não tem impedido que a concentração do fósforo se apresente fora dos valores determinados em algumas épocas do ano.

**Palavras-chave:** Bacia do Ribeirão do Pinhal; Impacto Ambiental; Modelagem Matemática; Simulação Computacional; Município de Limeira-SP.



## Abstract

Social concern about environmental problems has been increasing rapidly and sharply worldwide and special attention is dedicated to water bodies and resources – essential sources for life. In this context, this work focusses upon a characterization study: the water in the Tatu reservoir, the mathematical modeling and the use of this model to analyze and understand the present evolutive situation. Tatu reservoir dams Pinhal river's waters in Limeira, in São Paulo State, and it is of fundamental importance for this town, as an alternative source for local use of water. In recent years, phosphorus content has been on the increase reaching levels above recommended levels. A Mathematical Model is proposed using a system of Difference Equations to create an algorithm for numerical simulations of evolutive scenarios for phosphorus content, allowing for a qualitative analysis of the evolutive behavior and the potential for further degrading this reservoir.

**Key words:** Pinhal Basin; Environmental Impact; Mathematical Modeling; Computer Simulation; City of Limeira-SP

## Lista de ilustrações

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município 2011. Fonte: CETESB (g), 2012.....                     | 12 |
| Figura 2 - Local de captação de águas para abastecimento público da cidade de Limeira. Fonte: SMEA, 2010. ....                                  | 13 |
| Figura 3 - Localização das bacias Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Fonte: CONSÓRCIO PCJ, 2012.....                                               | 14 |
| Figura 4 - Classificação das UGRHI's. Fonte CETESB (g), 2012.....                                                                               | 15 |
| Figura 5 - Número de usuários no Estado de São Paulo das bacias PCJ. Adaptado de: AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.....                             | 16 |
| Figura 6 - Número de usuários Federal das bacias PCJ. Adaptado de: AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011. ....                                           | 16 |
| Figura 7 - Número de usuários no Estado de Minas Gerais das bacias PCJ. Adaptado de: AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.....                          | 17 |
| Figura 8 - Tipos e quantidades de outorgas no Estado de São Paulo emitidas nas bacias PCJ. Adaptado de: : AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.....     | 18 |
| Figura 9 - Tipos e quantidades de outorgas no domínio Federal emitidas nas bacias PCJ. Adaptado de: AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.....           | 18 |
| Figura 10 - Tipos e quantidades de outorgas no Estado de Minas Gerais emitidas nas bacias PCJ. Adaptado de: : AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011..... | 18 |
| Figura 11 - Sub-bacias da UGRHI 5. Fonte: COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012. ....               | 21 |
| Figura 12 - Pedologia da UGRHI 5. Fonte: COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012. ....                | 24 |
| Figura 13 - Unidades aquíferas da UGRHI 5. Fonte: COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012.....        | 26 |
| Figura 14 - Sub-bacia do rio Jaguari e do rio Piracicaba. Fonte: SOUZA, 2005. ....                                                              | 27 |
| Figura 15 - Ocupação do solo da sub-bacia do rio Jaguari. Fonte: SOUZA, 2005. ....                                                              | 29 |
| Figura 16 - Localização da sub-bacia do Ribeirão do Pinhal. Fonte: MANSOR, 2005. ....                                                           | 30 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17 - Cenário que engloba o ribeirão do Pinhal. Adaptado de: MANSOR, 2005. ....                       | 31 |
| Figura 18 - Utilização das terras ao redor do reservatório do Tatu. Adaptado de: GOOGLE<br>MAPS, 2012. .... | 33 |
| Figura 19 - Batimetria do reservatório do Tatu. Fonte: SMEA, 2010. ....                                     | 34 |
| Figura 20 - Representação de represa homeomorfa à um retângulo. ....                                        | 52 |
| Figura 21 - Compartimento geral de um corpo aquático. Adaptado de: ALVES, 2009. ....                        | 53 |
| Figura 22 - Simulação para dois valores de degradação, aporte nulo e fixo. ....                             | 61 |
| Figura 23 - Simulação para quatro valores de degradação e aporte fixo. ....                                 | 62 |
| Figura 24 - Simulação para quatro valores de degradação e aporte variável. ....                             | 63 |
| Figura 25 - Simulação para quatro valores de degradação, aporte nulo e fixo. ....                           | 65 |
| Figura 26 - Simulação para quatro valores de degradação e aporte fixo. ....                                 | 67 |
| Figura 27 - Simulação para quatro valores de degradação e aporte variável. ....                             | 69 |

## Lista de tabelas

|                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- IQA no ribeirão do Pinhal. Fonte: CETESB (e), 2010; CETESB (f), 2011; CETESB (g), 2012.....                                                                                                                                             | 38 |
| Tabela 2- IAP no ribeirão do Pinhal. Fonte: CETESB (e), 2010; CETESB (f), 2011; CETESB (g), 2012.....                                                                                                                                             | 40 |
| Tabela 3 - IET no ribeirão do Pinhal. Fonte: CETESB (e), 2010; CETESB (f), 2011; CETESB (g), 2012.....                                                                                                                                            | 42 |
| Tabela 4 – Caracterização periódica da qualidade da água do ribeirão do Pinhal no ano de 2008. Fonte: CETESB (i), 2008.....                                                                                                                       | 45 |
| Tabela 5 - Caracterização periódica da qualidade da água do ribeirão do Pinhal no ano de 2009. Fonte: CETESB (h), 2009.....                                                                                                                       | 46 |
| Tabela 6 - Caracterização periódica da qualidade da água do ribeirão do Pinhal no ano de 2010. Fonte: CETESB (a), 2010.....                                                                                                                       | 47 |
| Tabela 7 - Caracterização periódica da qualidade da água do ribeirão do Pinhal no ano de 2011. Fonte: CETESB (b), 2011.....                                                                                                                       | 48 |
| Tabela 8 - Teores de argila. Adaptado de: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL, 2004.....                                                                                                                                | 55 |
| Tabela 9 - Interpretação do teor de fósforo no solo conforme o teor de argila. Adaptado de: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL, 2004....                                                                               | 55 |
| Tabela 10 - Adubação fosfatada em pré-plantio de citros. Adaptado de: SCIVITTARO <i>et al.</i> , 2011.....                                                                                                                                        | 55 |
| Tabela 11 - Classificação do estado trófico de rios. Adaptado de: CETESB (c), 2011.....                                                                                                                                                           | 56 |
| Tabela 12 - Volume e fluxo em cada compartimento.....                                                                                                                                                                                             | 58 |
| Tabela 13 - Concentração do aporte de fósforo, $q$ , em $\text{mg m}^{-3}$ medido entre 2008 e 2011 pela CETESB, aporte médio e taxa de variação, $\Delta q$ . Fonte: CETESB (i), 2008; CETESB (h), 2009; CETESB (a), 2010; CETESB (b), 2011..... | 58 |

## Lista de abreviaturas e siglas

|        |                                                                                |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|
| ANA    | Agência Nacional de Águas                                                      |
| APRM   | Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais                                  |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo                                     |
| COD    | Carbono Orgânico Dissolvido                                                    |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente                                             |
| COT    | Carbono Orgânico Total                                                         |
| CX     | Cambissolo Háplico                                                             |
| DAEE   | Departamento de Águas e Energia Elétrica                                       |
| DBO    | Demanda bioquímica de oxigênio                                                 |
| DQO    | Demanda química de oxigênio                                                    |
| ENGEPI | Engenharia e Pavimentação Ltda.                                                |
| EPA    | Environmental Protection Agency                                                |
| ETA    | Estação de Tratamento de Água                                                  |
| GX     | Gleissolo Háplico                                                              |
| IAP    | Índice de Qualidade das Águas para fins de Abastecimento Público               |
| ICTEM  | Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município |
| IET    | Índice de Estado Trófico                                                       |
| IQA    | Índice de Qualidade da Água                                                    |
| ISTO   | Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas                                 |
| IVA    | Índice de Qualidade de Água para Proteção da Vida Aquática                     |
| LV     | Latossolo Vermelho                                                             |
| LVA    | Latossolo Vermelho Amarelo                                                     |
| MG     | Minas Gerais                                                                   |
| MS     | Ministério da Saúde                                                            |
| NV     | Nitossolo Vermelho                                                             |
| OD     | Oxigênio dissolvido                                                            |
| PCH    | Pequena Central Hidrelétrica                                                   |

|         |                                                                     |
|---------|---------------------------------------------------------------------|
| PCJ     | Piracicaba, Capivari e Jundiaí                                      |
| PVA     | Argissolo Vermelho-Amarelo                                          |
| RAC     | Rede Anhanguera de Comunicação                                      |
| RL      | Neossolo Litólico                                                   |
| RQ      | Neossolo Quartzarênico                                              |
| SEMAD   | Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável |
| SP      | São Paulo                                                           |
| SX      | Planossolo Háplico                                                  |
| UGRHI   | Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos                       |
| UNICAMP | Universidade Estadual de Campinas                                   |

# Sumário

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Introdução.....                                                             | 1  |
| 2 Objetivos .....                                                             | 3  |
| 2.1 Objetivo geral.....                                                       | 3  |
| 2.2 Objetivos específicos .....                                               | 3  |
| 3 Revisão de literatura.....                                                  | 4  |
| 3.1 O problema da poluição dos corpos aquáticos.....                          | 4  |
| 3.2 Qualidade da água .....                                                   | 6  |
| 4 O município de Limeira .....                                                | 10 |
| 4.1 A UGRHI 5 e o abastecimento do município de Limeira.....                  | 14 |
| 4.2 Características geológicas, geomorfológicas e pedológicas na UGRHI 5..... | 22 |
| 4.3 A sub-bacia do rio Jaguari .....                                          | 27 |
| 4.4 A sub-bacia do ribeirão do Pinhal .....                                   | 29 |
| 5 O ribeirão do Pinhal e a qualidade de suas águas .....                      | 36 |
| 6 Os procedimentos da modelagem matemática .....                              | 50 |
| 6.1 O modelo a ser utilizado .....                                            | 51 |
| 6.2 Os parâmetros da equação.....                                             | 54 |
| 6.2.1 O fósforo.....                                                          | 54 |
| 6.2.2 A determinação das variáveis .....                                      | 57 |
| 7 Ensaio computacionais e discussões .....                                    | 60 |
| 7.1 Cenário com único compartimento .....                                     | 60 |
| 7.1.1 Primeiro ensaio .....                                                   | 60 |
| 7.1.2 Segundo ensaio .....                                                    | 61 |
| 7.1.3 Terceiro ensaio .....                                                   | 63 |
| 7.2 Cenário com subdivisão do reservatório em 5 compartimentos .....          | 64 |
| 7.2.1 Primeiro ensaio .....                                                   | 65 |
| 7.2.2 Segundo ensaio .....                                                    | 66 |
| 7.2.3 Terceiro ensaio .....                                                   | 68 |
| 7.3 Discussões gerais .....                                                   | 70 |

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 8 Conclusões.....                        | 73 |
| 9 Sugestões de trabalhos futuros.....    | 75 |
| Referências Bibliográficas .....         | 76 |
| Apêndice.....                            | 87 |
| Apêndice A – Códigos computacionais..... | 87 |



# 1 Introdução

Como pôde ser observado na literatura, estudos da dispersão de poluentes possibilitam simulações, análises qualitativas e quantitativas, além de intervenções como tomada de decisões, que têm como vantagem a geração de cenários, inclusive hipotéticos, com rapidez e baixo custo.

Com o desenvolvimento e o crescimento das sociedades, os recursos hídricos, que são utilizados mundialmente com distintas finalidades, passaram a ser cada vez mais utilizados em diversos campos: lazer, navegação, consumo, doméstico, agrícola e industrial. Consequentemente, o volume de água a ser tratado também cresceu e os recursos disponíveis (e aplicados) para este tratamento e para as campanhas de educação, a fim de se evitar desperdícios, são limitados e, muitas vezes, mal aplicados (LEE, 2000).

O desperdício de água, a má conservação dos rios, a contaminação dos lençóis freáticos e a poluição dos corpos d'água são as principais causas da escassez de água que, ano após ano, se agrava (LEE, 2000).

Infelizmente dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) indicam que poucas cidades brasileiras preocupam-se com o tratamento de esgoto, a principal fonte de contaminação dos corpos d'água, na íntegra. Concomitantes a este problema, têm-se os efluentes industriais e a utilização de agroquímicos na agricultura brasileira que também se caracterizam como grandes fontes, pontual ou à deriva, de poluição nos corpos aquáticos (MAROTTA *et al.*, 2008).

Embora diversas ações sejam tomadas no sentido de se minimizar os prejuízos, na forma de investimentos municipais e legislações, atuando principalmente em grandes impactos, tais estratégias ainda se caracterizam como imperceptíveis diante da dimensão que a poluição atinge (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Os impactos resultantes da poluição dos corpos hídricos vêm se agravando devido ao fato de as soluções serem escassas e os investimentos mínimos. Os principais problemas decorrentes deste tipo de poluição estão ligados, entre outros fatores, à eutrofização, às toxinas produzidas, ao desequilíbrio no ecossistema local, à proliferação de doenças e a ingestão de alimentos contaminados pelos homens, entre outros (MORAES, 2002).

A preservação dos recursos hídricos é de fundamental importância. Para tanto, estratégias de educação ambiental e de gestão de tais recursos se fazem necessárias. São diversas as atividades que podem auxiliar os procedimentos e as análises de evolução destes fenômenos, dentre elas destacam-se os monitoramentos, as coletas e análises de amostras locais, além de estudos estatísticos e por meio de modelamentos.

A bacia do ribeirão do Pinhal é de extrema relevância, pois se trata de uma fonte de abastecimento público para o município de Limeira, assim, devido a essa característica a referida bacia ganha importância, o que leva a atentar aos cuidados com a manutenção da qualidade, quantidade e regularidade da água para seus diversos usos.

Em alguns períodos do ano a concentração de fósforo no ribeirão do Pinhal apresenta resultados acima do valor máximo estabelecido pelos órgãos de monitoramento e mesmo realizando simulações computacionais com potenciais de degradação considerados elevados para o ambiente natural há períodos em que essa concentração não é suficientemente degradada permanecendo além dos limites padronizados.

Observam-se hoje diversos estudos realizados, inclusive contratados por órgãos governamentais, em parcerias com universidades e centros de pesquisa que extrapolam limites de monitoramentos e análises *in loco*. Verificam-se, atualmente, diversas áreas integradas de pesquisa, contribuindo para estudos transversais mais eficazes, possibilitando maior conhecimento e melhor mapeamento do cenário em que se encontram os recursos hídricos. Dentre estas áreas destacam-se os processos de modelagem, inclusive atrelados a instrumentos matemáticos e de suportes computacionais, que avaliem estratégias e ações de impacto, preservação e recuperação dos recursos ambientais.

## **2 Objetivos**

Os objetivos deste trabalho integram assuntos de poluição ambiental, pertinentes à área de Ecologia Ambiental, e modelagem matemática, além de computação científica e geração de cenários. Eles estão divididos em objetivos gerais e objetivos específicos.

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é o de trazer à tona questões pertinentes à poluição ambiental estudada à luz de instrumentos de modelagem matemática e simulações computacionais que possibilitam análises e avaliações de situações pertinentes a problemas de impacto ambiental.

### **2.2 Objetivos específicos**

Gerar cenários e analisar o comportamento da concentração do poluente fósforo no reservatório do Tatu, localizado na bacia do ribeirão do Pinhal, Limeira-SP, via procedimentos de modelagem matemática e simulação computacional, a partir de especificidades do local e caracterização dessas águas, com vistas ao estudo realizado.

## 3 Revisão de literatura

### 3.1 O problema da poluição dos corpos aquáticos

A partir da Revolução Industrial houve uma crescente demanda para o uso de água doce potável. Com este crescimento desordenado houve a intensificação das atividades humanas e um adensamento populacional causando diversos transtornos para as nascentes e para a qualidade dos corpos hídricos (SOUZA, 2005).

O crescimento industrial e agrícola do século passado seguiu como nenhum outro na história, porém, suas consequências refletem, nos dias atuais, dificuldades da preservação da biodiversidade, dos sistemas ecológicos e seu manejo sustentável (INFORZATO, 2008).

Atualmente, o Brasil é considerado um país economicamente importante, com consumo de água elevado. Os volumes de água consumidos na agricultura, na pesca e pecuária, a produção anual de energia elétrica, que ocorre aproximadamente 91% em hidrelétricas, e os (aproximadamente) 40 portos ao longo da costa brasileira, além daqueles que servem ao comércio e ao turismo, corroboram demasiadamente com este consumo (TUCCI, HESPANHOL e NETTO, 2001).

A produção hídrica média do Brasil é de aproximadamente  $257.790 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Em média 11% dos recursos hídricos superficiais do mundo e 50% da América do Sul estão localizados no Brasil, com distribuição anual não uniforme (TUCCI, HESPANHOL e NETTO, 2001).

De acordo com Brandão (2001) a água é considerada um recurso natural renovável, mas sua disponibilidade está sendo reduzida devido às condições naturais e às atividades antrópicas que são desenvolvidas, e a afeta ao longo das bacias (POLETTI, 2009; MAROTTA *et al.*, 2008).

Os impactos diretos da poluição são sentidos primeiramente no ar, depois na água e no solo. Vale mencionar ainda que a poluição do ar pode depositar-se na água, alcançando corpos hídricos, escorrendo pelas margens e depositando-se no sedimento, ou retornando ao meio aéreo (INFORZATO, 2008).

Segundo Marrara (2008) as águas incorporam diversas substâncias devido, principalmente, à sua capacidade de transporte de partículas e a sua propriedade de solvente. O maior problema ambiental brasileiro está relacionado aos recursos hídricos, pois, de acordo com Tucci, Hespanhol

e Neto (2001) os rios que atravessam as cidades encontram-se, quase que em sua totalidade, degradados devido ao descarte de esgoto doméstico *in natura*, pois a maioria das cidades brasileiras não possuem coleta e/ou tratamento de esgoto doméstico (MAROTTA *et al.*, 2008).

Os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul são os mais industrializados do país, mas também os que concentram os maiores problemas em relação aos recursos hídricos (MARRARA, 2008).

Diluídas nos efluentes domésticos encontram-se as substâncias químicas sintéticas, algumas resistentes à degradação que, muitas vezes sem um prévio estudo de impacto ambiental, são produzidas, comercializadas e descartadas sem cuidados apropriados (MARRARA, 2008).

Algumas delas podem afetar não só os ecossistemas aquáticos como também a saúde humana através da bioacumulação de substâncias tóxicas ao longo da cadeia alimentar. A contaminação dos corpos hídricos e a exploração inadequada vêm limitando o uso da água e alterando suas características físicas, químicas e microbiológicas (JORDÃO *et al.*, 2006).

A qualidade da água depende de diversos fatores tais como: condições geológicas e geomorfológicas, cobertura vegetal, comportamento do ecossistema terrestre e, principalmente, da ação do homem no tocante aos lançamentos de cargas nos corpos d'água, uso rural e urbano do solo e modificações nos sistemas fluviais, entre outros (TUCCI, HESPANHOL e NETTO, 2001; VARGAS, 1999; RODRIGUES *et al.*, 2009).

As substâncias químicas, provenientes de processos industriais que atingem os corpos d'água, prejudicam muito além da coluna d'água, pois atingem microrganismos, organismos presentes nos sedimentos, a fauna e a flora local, alterando o pH, a temperatura e a concentração de elementos químicos, prejudicando assim toda a cadeia ecológica (OLIVEIRA *et al.*, 2008; JORDÃO *et al.*, 2006).

No Brasil, o custo de tratamento da água é elevado e o comprometimento da qualidade deste tratamento afeta diversos segmentos da sociedade, por isso um acompanhamento prévio da qualidade e dos riscos de degradação podem reduzir esses custos (BRANDÃO, 2001).

A partir de 1988 a Constituição Federal passou a considerar a água como um bem público de responsabilidade do Estado ou da União com o objetivo de melhor monitorar este recurso (MANSOR, 2005).

Atualmente as principais legislações vigentes, que visam à manutenção dos recursos hídricos brasileiros existentes no país de acordo com a CETESB são:

- Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 que estipula os padrões de qualidade ambiental;
- Constituição Federal de 1988 que permite ao Estado e a União criarem um sistema de gestão;
- Lei Estadual nº 7.663 de 30 de dezembro de 1991 que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, onde a unidade gestora é a bacia hidrográfica;
- Lei Federal nº 9.433 de janeiro de 1997 que cria a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- Portaria Ministério da Saúde (MS) nº 518 de março de 2004 que estabelece padrões de potabilidade da água para consumo humano;
- Resolução Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de 17 de março de 2005 que classifica as águas de acordo com a utilização;
- Resolução RDC nº 275 de 22 de setembro de 2005 que apresenta o regulamento técnico microbiológico;
- Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011 que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357;
- Portaria MS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 que controla a qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Como visto acima, são várias as leis e resoluções que visam auxiliar os diversos segmentos da sociedade e das instituições no tocante, não só à preservação dos recursos hídricos, mas também à gestão e ao monitoramento das águas. Assim, diversas ações complementares inclusive de pesquisa e educação podem favorecer o processo, visando à qualidade de vida e a perpetuação das espécies, para as gerações futuras e para o meio ambiente.

### **3.2 Qualidade da água**

Ao passar por etapas do ciclo hidrológico, como o escoamento superficial e subterrâneo, a água incorpora em sua composição impurezas orgânicas e inorgânicas, consideradas parte do equilíbrio deste ciclo, que é alterado por atividades antrópicas (LARENTIS, 2004).

Desta forma, a qualidade das águas é determinada tanto por fatores antrópicos quanto por fatores naturais. Dentre os principais fatores que interferem na qualidade das águas, têm-se o

lançamento de poluentes, a eutrofização e o tempo de residência hidráulica (POLETTI, 2009; RUEDA, 2006).

O descarte de cargas poluidoras causa um desequilíbrio no rio que tende a voltar ao seu estado de equilíbrio readquirindo gradualmente as características anteriores, este é o fenômeno da autodepuração. Este processo compreende as seguintes etapas: a zona de degradação, região que contém elevada concentração de matéria orgânica; a zona de decomposição ativa, região em que há baixa concentração de oxigênio dissolvido devido à grande atividade microbiana de decomposição; a zona de recuperação, região onde se inicia o retorno ao equilíbrio e a zona de águas limpas, região onde o rio apresenta características iguais às aquelas encontradas anteriormente ao descarte de cargas poluidoras.

Os problemas de eutrofização são indicadores da relação entre o rio e o fitoplâncton onde há alta concentração de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, que em contato com elevada temperatura pode crescer desordenadamente e em excesso (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2007).

O tempo de residência hidráulica é o tempo em que a massa de água fica retida num reservatório e interfere na qualidade da água e na vida útil do reservatório (LARENTIS, 2004).

A qualidade das águas é regulamentada pela Resolução CONAMA nº 357, de 2005 que estabelece uma classificação para as águas doces, salobras e salinas. Estas classes são definidas de acordo com os usos a que estas se destinam (BRASIL, 2005; PALMIERI, 2006).

A classificação da água doce, que apresenta salinidade igual ou inferior a 0,5%, dependendo das características apresentadas no corpo d'água. De acordo com a resolução, as águas doces, enquadradas na classe especial, podem ser destinadas:

- *ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;*
- *à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;*
- *à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.*

As águas de classe 1 destinam-se:

- *ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;*
- *à proteção das comunidades aquáticas;*
- *à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;*
- *à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e*

- *à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.*

As águas doces de classe 2, destinam-se:

- *ao abastecimento e consumo humano após tratamento convencional;*
- *à proteção das comunidades aquáticas;*
- *à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;*
- *à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e*
- *à aqüicultura e à atividade de pesca.*

As de classe 3 podem ser destinadas:

- *ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;*
- *à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;*
- *à pesca amadora;*
- *à recreação de contato secundário; e*
- *à dessedentação de animais.*

As de classe 4 destinam-se apenas:

- *à navegação; e*
- *à harmonia paisagística.*

Para cada classe, a Resolução CONAMA nº 357 estabelece parâmetros específicos, ou seja, indicadores que representam a qualidade da água, que os corpos d'água devem atender (BRASIL, 2005).

A qualidade da água é definida através de seus parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os parâmetros físicos estão relacionados à cor verdadeira, série de sólidos (dissolvidos, totais e voláteis), temperatura da água e do ar, transparência e turbidez. Os parâmetros químicos são: alumínio dissolvido, bário, cádmio, carbono orgânico dissolvido (COD), carbono orgânico total (COT), chumbo, cloreto, cobre dissolvido, condutividade específica, cromo, demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), fenóis totais, ferro dissolvido, fluoreto, fósforo total, manganês, mercúrio, níquel, óleos e graxas, ortofosfato solúvel, oxigênio dissolvido (OD), pH, potássio, potencial de formação de trihalometanos, série de nitrogênio



(Kjeldahl, amoniacal, nitrato e nitrito), sódio, sulfato, surfactantes e zinco. Os parâmetros biológicos são os coliformes termotolerantes e *E. coli*. (CETESB (f), 2011)

Todos estes parâmetros definem a classe do corpo d'água e servem de base para os monitoramentos, análises e modelagens (LARENTIS, 2004).

Os parâmetros físico-químicos não consideram o fator tempo, uma vez que os resultados das análises são avaliados com base em coletas e análises pontuais e momentâneas.

No Brasil, a classificação dos corpos aquáticos em classes deve atender a um conjunto de parâmetros que são estabelecidos de acordo com o uso da água e é realizada pelo CONAMA através dos limites de concentração de diversas variáveis de qualidade (LARENTIS, 2004).

O principal parâmetro que indica lançamentos de esgoto sem tratamento é o parâmetro de coliformes termotolerantes. Quando isso ocorre, a concentração de matéria orgânica, que será degradada pelos microrganismos os quais consumirão o oxigênio dissolvido do corpo aquático, aumenta. Neste processo, o oxigênio consumido é reduzido no meio e favorece a degradação anaeróbia onde ocorre a degradação da matéria orgânica nitrogenada, produzindo e liberando nitrato que, combinado com o fósforo, promove o crescimento excessivo das algas, causando a eutrofização, um dos grandes problemas dos corpos aquáticos brasileiros (CETESB (f), 2011).

Todos os padrões de qualidade da água são estabelecidos com o propósito de controlar os níveis que caracterizam a qualidade das águas e manter essa característica mesmo com o lançamento de efluentes, buscando, desta forma, regulamentar o processo para melhorar a forma de monitoramento e gerenciamento da qualidade dos corpos hídricos (BRANDÃO, 2001).

## 4 O município de Limeira

O município de Limeira localiza-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo, pertence à região administrativa de Campinas e faz divisa com os municípios de Cordeirópolis e Araras ao norte; Artur Nogueira e Cosmópolis a leste; Americana e Santa Bárbara do Oeste ao sul; Piracicaba e Iracemápolis a oeste (AZEVEDO, 2008).

Fundada em 15 de setembro de 1826, a cidade abrange uma área de 581,00 Km<sup>2</sup>, com 143,14 Km<sup>2</sup> de perímetro urbano; 35,84 Km<sup>2</sup> de perímetro de extensão urbana; 2,80 Km<sup>2</sup> de perímetro urbano isolado e 399,22 Km<sup>2</sup> de zona rural. Está localizada a 154 Km a noroeste do município de São Paulo nas coordenadas latitude sul 22°33'54'' e longitude oeste 47°24'09'' a uma altitude média de 567 m (PREFEITURA MUNICIPAL DE LIMEIRA, 2011; ALEIXO *et al.*, 2006).

De acordo com registros da história<sup>1</sup> do município, entre 1799 e 1821 nove sesmarias foram doadas pelo Capitão Luiz Manoel da Cunha Bastos. Dentre elas, a sesmaria do Morro Azul, onde estava a Fazenda Ibicaba, esta foi a mais importante, influenciando o desenvolvimento da cidade.

Em 1822 havia 951 pessoas livres e 546 escravos morando na região. O início da povoação deu-se em 1823, às margens do ribeirão Tatu, com a construção de pontes sobre os rios Jaguari e Atibaia, quando o Senador Vergueiro, proprietário e residente do Engenho Ibicaba, iniciou a construção da estrada de Jundiaí a Campinas e desta a Piracicaba, concluindo-a em 1826, época em que houve a construção da Capela de Nossa Senhora do Tathuiby, que ainda existe nos dias atuais (PREFEITURA MUNICIPAL DE LIMEIRA, 2011).

O fundador da cidade foi o Capitão Luiz Manoel da Cunha Bastos.

A expansão das culturas de café iniciou-se substituindo a hegemonia dos engenhos de açúcar da época, juntamente com a chegada de imigrantes alemães, italianos e suíços, entre outras nacionalidades.

Em 1884, a população do município já era de 4.000 habitantes, com 72 estabelecimentos comerciais.

---

<sup>1</sup> História registrada por Reynaldo Kuntz Busch, no livro A História de Limeira.

O primeiro grupo escolar foi criado em 1900 e a produção de laranja, característica importante da cidade até hoje, criou força na região somente em 1915, com a exportação do produto para Argentina e Uruguai.

Em 1939, com aproximadamente 44.000 habitantes, a citricultura atingiu seu apogeu. Empresas na área metalúrgica, instaladas na cidade nas décadas de 40 e 60, contribuíram para o seu crescimento.

Atualmente, Limeira possui 280 mil habitantes, aproximadamente, e caracteriza-se como uma cidade industrializada, com setor comercial e de serviços solidificado, principalmente no ramo de folheados e atividades agrícolas, acentuadas na produção de laranja e a cana-de-açúcar (CETESB (f), 2011; PREFEITURA MUNICIPAL DE LIMEIRA, 2011).

Pela sua localização, Limeira faz parte de uma importante região do estado de São Paulo e compõe, juntamente com as cidades da região, um polo de desenvolvimento tecnológico na área industrial e de pesquisa, devido às diversas instituições, empresas, centros e universidades que contribuem para o desenvolvimento do estado.

O clima local se caracteriza como tropical de altitude – Cwa – conforme classificação de Köppen, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. A temperatura média anual é de 25°C com chuvas contendo um volume médio de 1.240 mm, determinado entre janeiro de 1966 e dezembro de 1997, no posto Limeira, prefixo D4-064 e altitude 640 m (BRANDÃO, 2001).

Limeira situa-se na Depressão Periférica Paulista e é caracterizada por topografia levemente ondulada e predomínio de colinas baixas (AZEVEDO, 2008).

O solo é utilizado principalmente para plantações de cana-de-açúcar, citros e para uso de pastagens. De acordo com Brandão (2001), muitos produtores não recebem assistência técnica sistemática e, no tocante aos agroquímicos, a maioria dos citricultores utilizam produtos de classificação altamente e extremamente tóxicos.

O município está enquadrado, de acordo com a CETESB, na faixa 5,1 – 7,5 do Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município (ICTEM), conforme pode ser verificado na Figura 1.

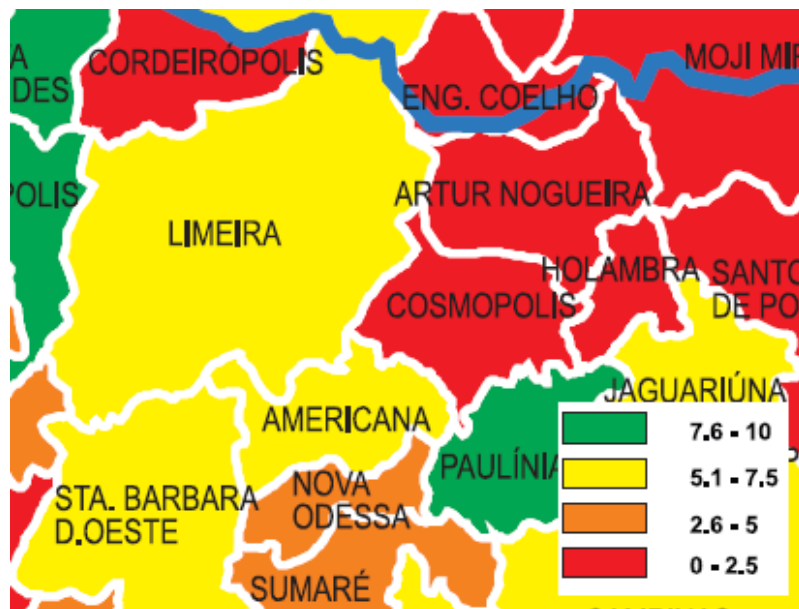


Figura 1- Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município 2011. Fonte: CETESB (g), 2012.

Através deste indicador, o ICTEM, que é resultante da avaliação do investimento realizado pelo município em saneamento e a porcentagem de coleta e tratamento de esgoto associada à eficiência de remoção da carga orgânica, obtém-se a medida de remoção da carga orgânica em relação àquela gerada pela população urbana, que é a carga potencial.

Limeira produz 14.969 Kg.DBO/dia de carga orgânica doméstica potencial e 11.280 Kg.DBO/dia de carga orgânica doméstica remanescente, ou seja, a carga realmente descartada nos corpos d'água (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012).

Em relação a carga orgânica industrial remanescente, Limeira é responsável pelo lançamento de 18 Kg.DBO/dia na sub-bacia do rio Jaguari e 877 Kg.DBO/dia na sub-bacia do rio Piracicaba (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012).

Em 2010, a nota obtida para o ICTEM, pelo município, foi de 4,1. Este fator indicava a necessidade de investimentos como: ampliação do tratamento de esgoto para melhorar a classificação do município, já que Limeira coletava 100% do esgoto, porém nem tudo era tratado. De acordo com a Foz do Brasil, 90% do esgoto do município de Limeira foi tratado até dezembro de 2010 com uma eficiência de 44% na remoção de DBO (CETESB (f), 2011; FOZ DO BRASIL, 2011).

No ano de 2011 novos investimentos foram realizados pela Prefeitura, concretizando o tratamento de 100% do esgoto com 54,3% de eficiência e ICTEM de 6,73 (CETESB (g), 2012; FOZ DO BRASIL, 2011).

Os principais cursos d'água de Limeira são: o ribeirão Tatu, o ribeirão da Geada e o ribeirão do Pinhal (PREFEITURA MUNICIPAL DE LIMEIRA, 2011).

O abastecimento de água da cidade ocorre através da captação dos mananciais: rio Jaguari e ribeirão do Pinhal (Figura 2) com capacidade de reserva atual de 50 milhões de litros (PREFEITURA MUNICIPAL DE LIMEIRA, 2011).

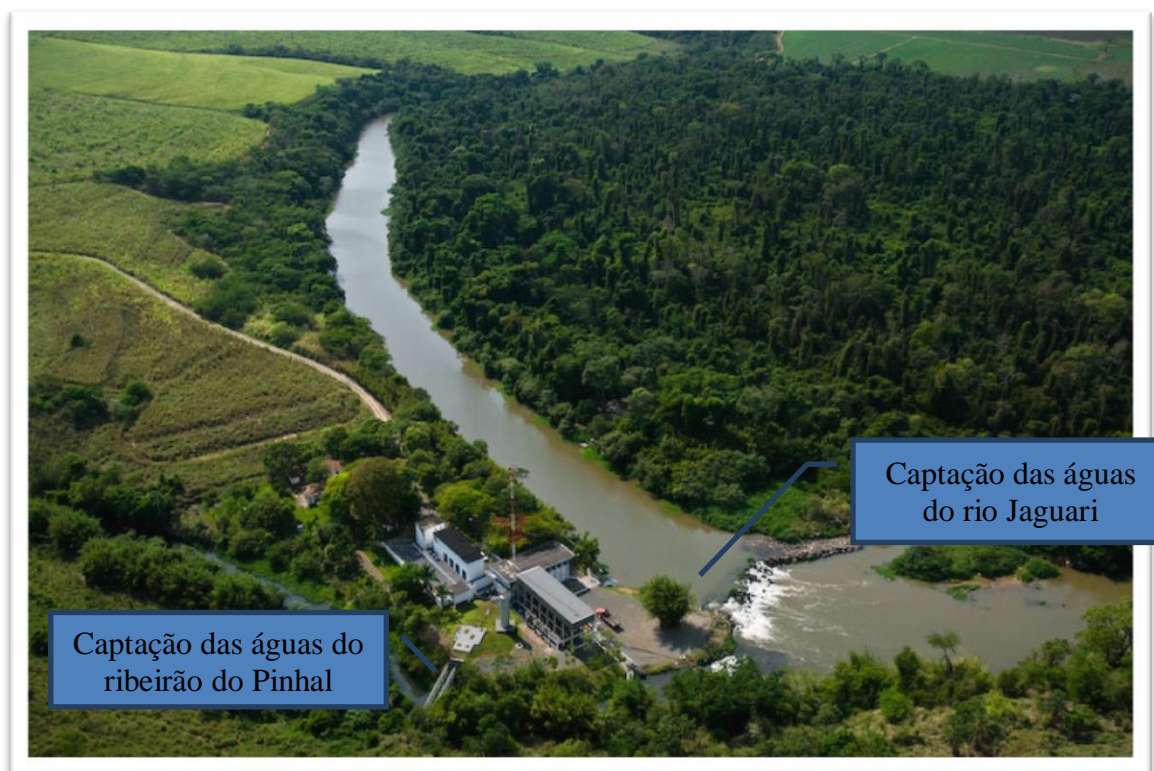


Figura 2 - Local de captação de águas para abastecimento público da cidade de Limeira. Fonte: SMEA, 2010.

A cidade de Limeira possui uma estação de captação de água, Estação de Captação Jaguari, localizada na confluência dos dois rios, à jusante do ribeirão do Pinhal, uma estação de tratamento de água às margens da rodovia Anhanguera, no Parque Hipólito, e quatro estações de tratamento de esgoto, as quais são responsáveis por tratar 100% do esgoto gerado. A água captada na Estação de Captação Jaguari percorre 16 Km até chegar na Estação de Tratamento de Água (ETA) (FOZ DO BRASIL, 2011; MANSOR 2005).

#### 4.1 A UGRHI 5 e o abastecimento do município de Limeira

Limeira, pela sua localização, pertence a bacia hidrográfica do rio Piracicaba, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5, de acordo com a Legislação Estadual, que contém a bacia hidrográfica dos rios Estação de Captação Jaguari, Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) (Figura 3) as quais contém respectivamente 11.402,84 Km<sup>2</sup>, 1.620,92 Km<sup>2</sup> e 1.114,03 Km<sup>2</sup>.



Figura 3 - Localização das bacias Piracicaba, Capivari e Jundiá. Fonte: CONSÓRCIO PCJ, 2012.

A UGRHI 5 é uma unidade entre as 22 UGRHI's do Estado de São Paulo. Esta unidade é composta por 54 municípios e ocupa uma área de drenagem de 14.137,79 Km<sup>2</sup>, abrange 5.138.391 pessoas residentes e está classificada como uma UGRHI industrial, conforme Figura 4 (CETESB (g), 2012; COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (a), 2012; COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012).

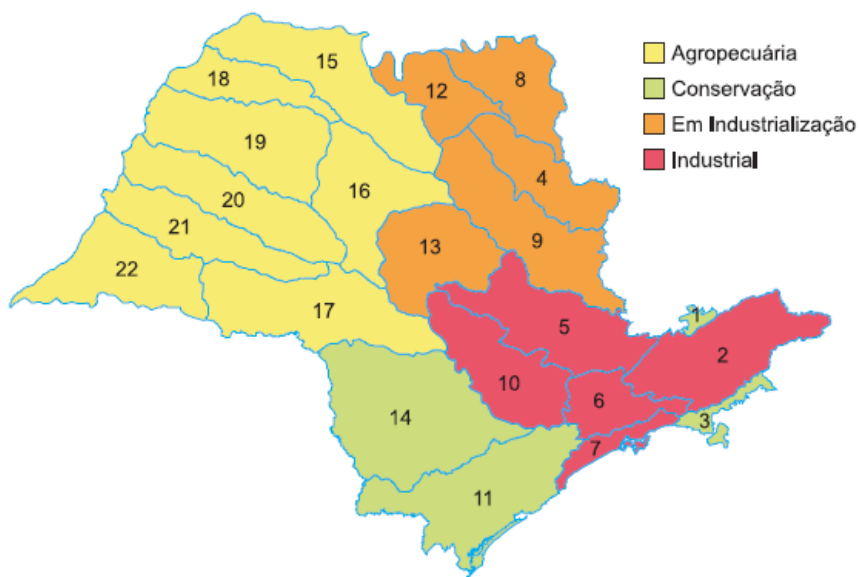


Figura 4 - Classificação das UGRHI's. Fonte CETESB (g), 2012.

O uso das águas desta UGRHI é dividido entre uso urbano ( $17,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), industrial ( $14,56 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e irrigação ( $8,11 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) (CETESB (d), 2009).

A UGRHI 5 contém 88% do esgoto coletado, sendo 53% tratado. Em 2011 sua nota no ICTEM foi 5,31 (CETESB (g), 2012).

A bacia dos rios PCJ recebe 138.866 Kg.DBO/dia de carga orgânica doméstica remanescente e 31.286 Kg.DBO/dia de carga orgânica industrial remanescente totalizando 170.151 Kg.DBO/dia (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012).

De acordo com o Relatório de Gestão e Situação das Bacias PCJ (2011) há 2.086 usuários ativos no sistema de cobrança nas bacias PCJ, 1.959 no domínio paulista, 24 no mineiro e 103 no federal; divididos nas categorias: abastecimento público, industrial, transposição, urbano privado e outros (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011).

Nas Figuras 5, 6 e 7 observa-se a relação entre as categorias de usuário e seu respectivo domínio.

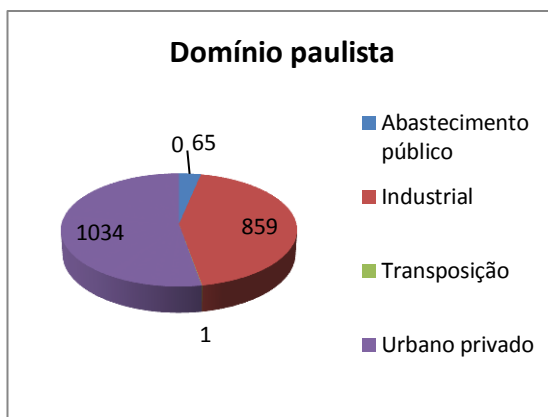


Figura 5 - Número de usuários no Estado de São Paulo das bacias PCJ. Adaptado de: AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.

De acordo com a Figura 5, no domínio paulista, a maior parte do abastecimento é destinado ao consumo público. Esta situação que se contrapõe aos domínios federal, Figura 6, e mineiro, Figura 7, que têm a maior parte do abastecimento destinado ao consumo industrial.

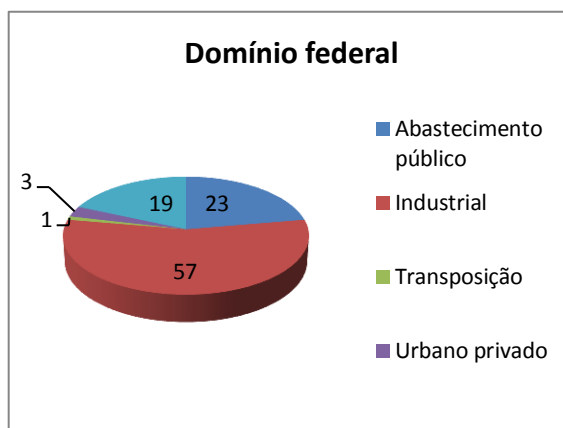


Figura 6 - Número de usuários Federal das bacias PCJ. Adaptado de: AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.



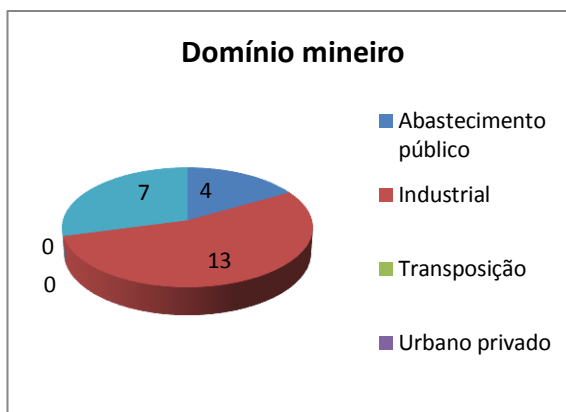


Figura 7 - Número de usuários no Estado de Minas Gerais das bacias PCJ. Adaptado de: AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.

De acordo com o Relatório de Gestão e Situação das Bacias PCJ (2011) define-se como outorga “*uma autorização para a utilização dos recursos hídricos concedida ao usuário público ou privado, sendo concedida apenas após avaliação de disponibilidade hídrica e impactos causados nos recursos hídricos*” (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011).

Dessa forma, no domínio federal a outorga é concedida pela Agência Nacional de Águas (ANA), no domínio paulista é concedida pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e no domínio mineiro é a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD).

Há 328 outorgas concedidas na bacia PCJ; 296 no domínio paulista, 15 no mineiro e 17 no federal. Estas outorgas estão divididas nas categorias de uso: captação superficial, captação subterrânea e lançamento.

Nas Figuras 8, 9 e 10 observa-se a relação entre as categorias de uso e seu respectivo domínio.

De acordo com as Figuras 8 e 10, nos domínios paulista e mineiro, a principal categoria destina-se à captação subterrânea. Já, na Figura 9, no domínio federal, a principal categoria é o lançamento de efluentes.

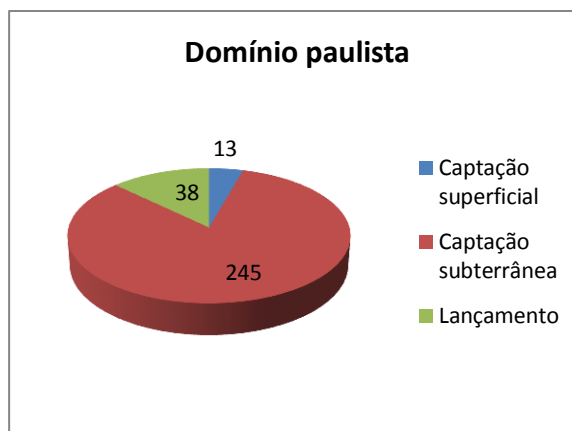


Figura 8 - Tipos e quantidades de outorgas no Estado de São Paulo emitidas nas bacias PCJ. Adaptado de: : AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.

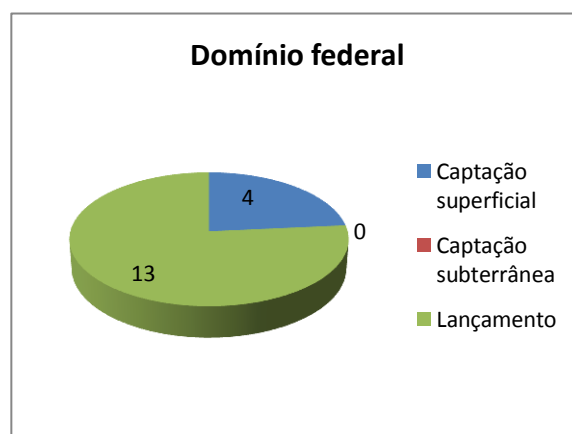


Figura 9 - Tipos e quantidades de outorgas no domínio Federal emitidas nas bacias PCJ. Adaptado de: AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.

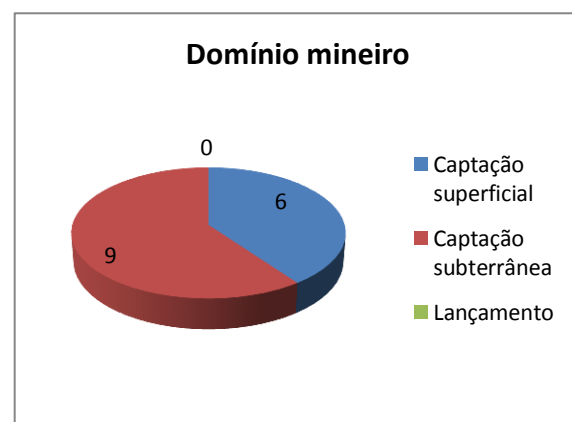


Figura 10 - Tipos e quantidades de outorgas no Estado de Minas Gerais emitidas nas bacias PCJ. Adaptado de: : AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2011.

De acordo com Carolo (2007) a UGRHI 5 recebe efluentes de mais de 288 estabelecimentos industriais. Cerca de 77% dos lançamentos na UGRHI são realizados por 17 empresas e perfazem um total de, aproximadamente  $9,40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de efluentes.

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba possui um desnível topográfico de cerca de 1.400 m e uma área de drenagem de  $12.568,72 \text{ Km}^2$ . Desta área, 90% está situada no Estado de São Paulo, entre os paralelos  $22^\circ00'$  e  $22^\circ30'$  de latitude sul e os meridianos  $46^\circ00'$  a  $48^\circ00'$ , a oeste de Greenwich, e 10 % no Estado de Minas Gerais.

A bacia do rio Piracicaba subdivide-se em cinco sub-bacias (Figura 11): a sub-bacia do rio Camanducaia, com  $870,68 \text{ Km}^2$  de área drenada, a sub-bacia do rio Piracicaba, com  $3.700,79 \text{ Km}^2$  de área drenada; do rio Jaguari, com  $2.323,42 \text{ Km}^2$  de área drenada; do rio Atibaia, com  $2.828,76 \text{ Km}^2$  de área drenada e do rio Corumbataí, com  $1.679,19 \text{ Km}^2$  de área drenada. (GALLO, 2000; COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012).

O principal rio da bacia hidrográfica do rio Piracicaba é o rio Piracicaba, com largura média de 50 m e 370 Km de extensão, desde sua cabeceira na Serra da Mantiqueira – MG, até sua foz, no município de Barra Bonita – SP, desembocando no rio Tietê. Seus afluentes escoam sentido interior do Estado de São Paulo, seguindo a inclinação do terreno (BEDUSCHI, 2008; SOUZA, 2005; MORTATTI, 2004; GALLO, 2000).

A bacia PCJ possui  $37,98 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de água disponível, sendo que as captações realizadas somam  $34,55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e os lançamentos  $18,89 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012).

O regime pluviométrico da bacia do rio Piracicaba é classificado como tropical típico, com período chuvoso entre outubro e abril e período de estiagem entre maio e setembro. O clima, em quase sua totalidade, é subtropical, com temperaturas médias anuais entre  $18^\circ\text{C}$  e  $22^\circ\text{C}$  (GALLO, 1995).

Segundo a CETESB (2010) a bacia é classificada como de classe 2 e possui cerca de 3,1 milhões de pessoas residentes (PEREIRA *et al.* 2004).

A disponibilidade hídrica, média, da bacia do rio Piracicaba é de  $172 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , reduzida para  $43 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  na época de estiagem (CETESB (d), 2009).

São abastecidos pelas águas da bacia do rio Piracicaba 43 municípios, 33 por captação em mananciais de superfície, 4 por mananciais subterrâneos e 3 por sistema misto (BEDUSCHI, 2008).

Devido à necessidade de maior quantidade de água para o abastecimento da região do município de São Paulo, a bacia do rio Piracicaba participa da reversão de água para abastecer a região metropolitana através do Sistema Cantareira. Neste processo cerca de  $30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  é revertido da sub-bacia do rio Jaguari para a capital, ou seja, há uma transposição da água da sub-bacia do rio Jaguari (MANSOR, TEIXEIRA FILHO e ROSTON, 2006).



Figura 11 - Sub-bacias da UGRH 5. Fonte: COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012.

A bacia do rio Piracicaba recebe 105.382 Kg.DBO/dia de carga orgânica doméstica remanescente e 9.721 Kg.DBO/dia de carga orgânica industrial remanescente e possui 32,10 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> de água disponível, sendo captados 26,4 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> e lançados 14,16 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012).

#### **4.2 Características geológicas, geomorfológicas e pedológicas na UGRHI 5**

A bacia PCJ localiza-se na borda centro-leste da Bacia Sedimentar do Paraná onde há quatro domínios geológicos predominantes: o embasamento cristalino, que é constituído por rochas metamórficas e ígneas apresentando um comportamento mais resistente; as rochas sedimentares mesozóicas e paleozoica, que apresentam baixa resistência mecânica; as rochas magmáticas efusivas e intrusivas básicas, que são mais homogêneas, maciças, isotrópicas e apresentam alta resistência mecânica; e as coberturas sedimentares cenozoicas, que são formadas por rochas brandas e por depósitos aluvionares e coluvionares de cursos d'água. (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012).

Em relação a geomorfologia, a bacia PCJ está inserida no Planalto Atlântico, caracterizado pelo embasamento cristalino; na Depressão Periférica, composta por sedimentos; e nas Cuestas Basálticas.

Os tipos de solos mais encontrados na UGRHI 5 (Figura 12) são classificados em:

- Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) do tipo distrófico: possui uma coloração que varia do vermelho ao amarelo, são solos profundos ou muito profundos, apresentam estágio avançado de intemperismo, baixa reserva de elementos nutritivos para plantas, maior resistência à erosão e apresentam saturação por bases e por alumínio inferiores a 50%;

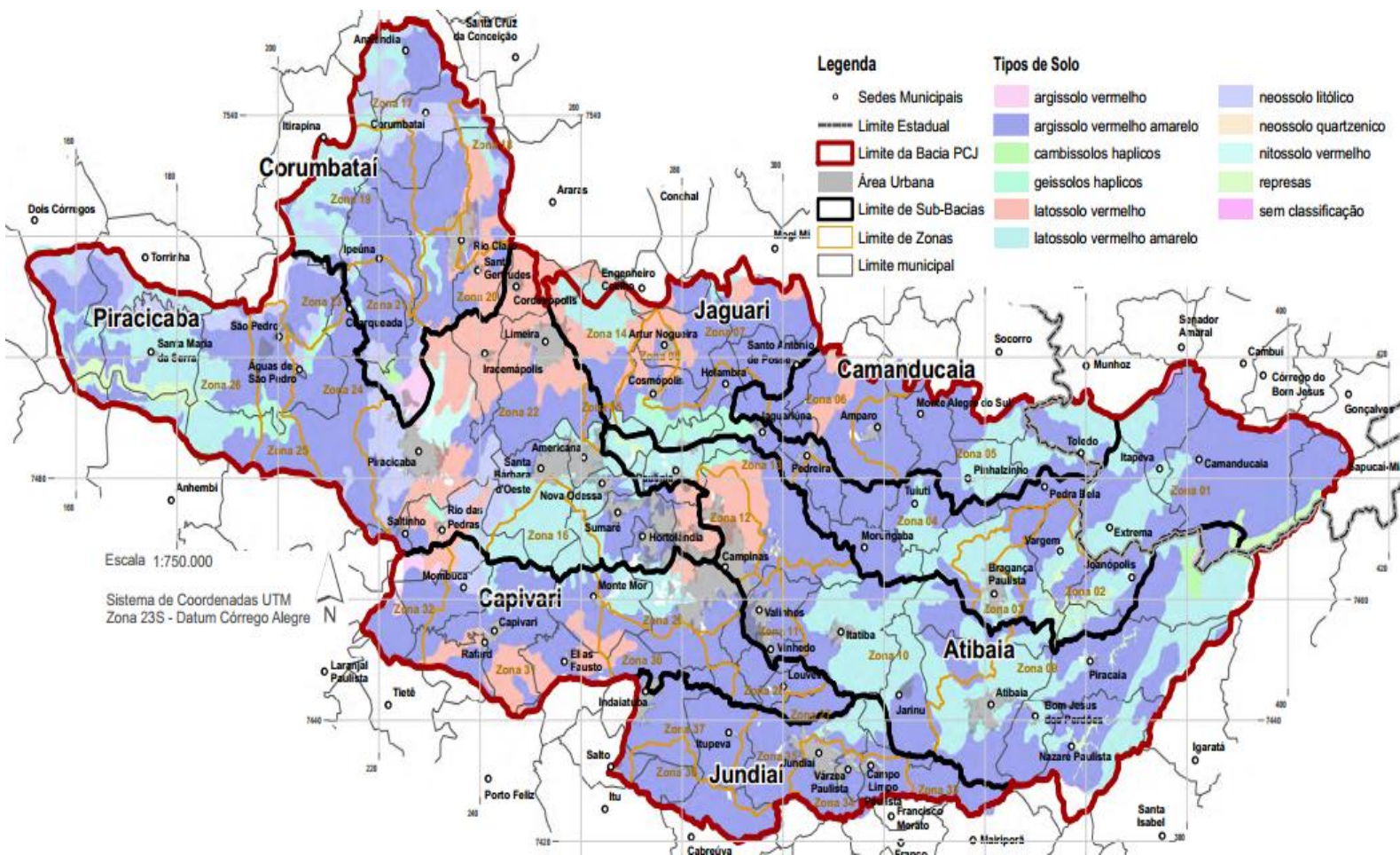
- Latossolo Vermelho (LV): contém teores elevados de óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) deixando a coloração do solo mais avermelhada, elevada absorção de fósforo, são solos profundos, textura argilosa e baixa fertilidade natural o que faz com que sejam necessárias a adubação e a calagem; ocorre nas variantes Latossolo Vermelho-Escuro Distroférrico, Distrófico e Acriférrico;

- Gleissolo Háptico (GX) Distrófico e Eutrófico: há elevado teor de carbono orgânico, ocorrem em áreas planas, não são indicados para construções de aterros sanitários devido à facilidade de contaminação dos aquíferos;

- Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) Distrófico e Eutrófico: possui de baixa a média fertilidade natural;
- Cambissolo Háplico (CX) Distrófico: contém restrições para usos agrícolas devido à elevada capacidade de degradação, é pobre em nutrientes e ácido, e possui lençóis freáticos pouco profundos;
- Planossolo Háplico (SX): há grande risco de erosão hídrica, não é indicado para construções de aterros sanitários e fossas sépticas;
- Neossolo Litólico (RL): limitado a agricultura devido ao reduzido volume de terra para a fixação de plantas e de umidade, rico em nutrientes, não é indicado para construções de aterros sanitários;
- Neossolo Quartzarênico (RQ): são argilosos, profundos, de baixa fertilidade natural por serem pobres em nutrientes, há baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, podem ser utilizados na construção civil;
- Nitossolo Vermelho (NV): possui espessa zona de aeração o que o torna adequado para aterros sanitários;
- Distrófico é aquele que possui saturação por bases inferiores a 50% e eutrófico é aquele que possui saturação por bases iguais ou superiores a 50% (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (a), 2012).



Figura 12 - Pedologia da UGRH 5. Fonte: COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012.





Conforme observado na Figura 12, os tipos de solos existentes no município de Limeira são: Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo e Neossolo Litólico, ou seja, caracterizam-se pela baixa reserva de elementos nutritivos para plantas e baixa fertilidade natural.

Na UGRHI 5 estão presentes alguns aquíferos devido às unidades geológicas existentes. Eles são classificados em: Aquífero Cristalino: o de maior extensão na UGRHI 5, composto por unidades do período Cambriano, mas predominantemente do período Pré-Cambriano; Aquífero Tubarão: localiza-se numa região da bacia onde há um importante eixo de industrialização e conurbação com alta taxa de crescimento e escassez de recursos hídricos. A má condição é agravada com o elevado grau de cimentação que causa uma baixa permeabilidade; Aquífero Passa Dois: formações regionais com função passiva em relação a percolação de água subterrânea. Aflora em 9% da bacia PCJ principalmente nas sub-bacias Corumbataí e Piracicaba; Aquífero Diabásico: constituído pelas rochas intrusivas básicas associadas ao vulcanismo. Aflora em 4% da bacia PCJ principalmente na bacia Piracicaba; Aquífero Guarani: o principal aquífero em termos de produtividade e reserva de águas subterrâneas; Aquífero Serra Geral: formado por rochas extrusivas constituídas pelos derrames de basaltos originados pelo vulcanismo do período Mesozóico.

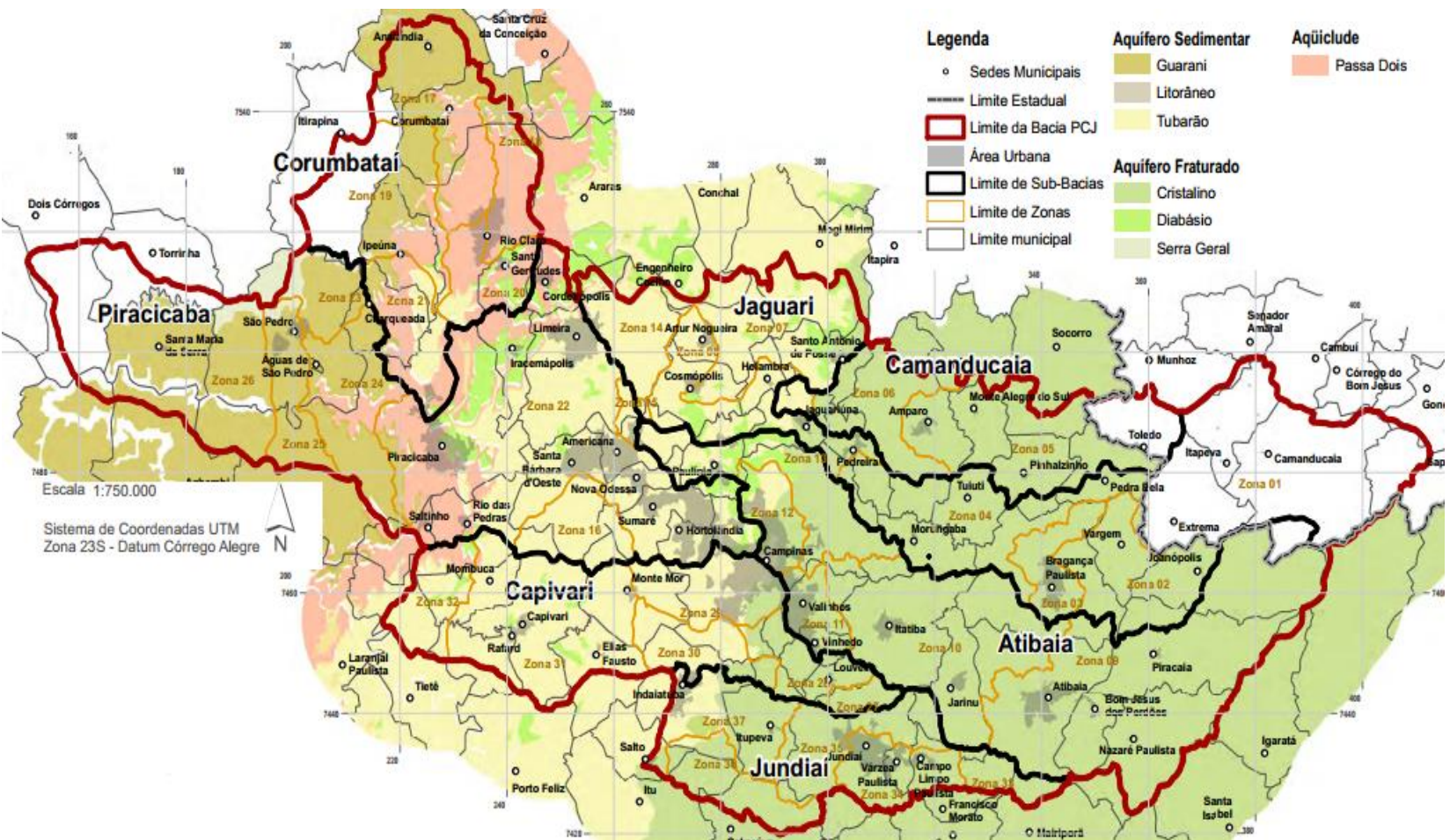


Figura 13 - Unidades aquíferas da UGRHI 5. Fonte: COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012.

Os aquíferos na UGRHI 5 possuem uma vazão explorável de  $24,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e possuem cerca de 5.000 poços que se utilizam dessas águas. Delas são retiradas cerca de 127 milhões de  $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$  (CAROLO, 2007).

Na Figura 13 observa-se que o município de Limeira localiza-se no Aquífero Tubarão.

### 4.3 A sub-bacia do rio Jaguari

O rio Jaguari, onde o ribeirão do Pinhal desagua, nasce na Serra das Três Orelhas – MG, possui aproximadamente 200 Km de extensão sendo a maior parte percorrida no Estado de São Paulo, onde possui sua foz no encontro com o rio Atibaia, formando o rio Piracicaba (Figura 14).



Figura 14 - Sub-bacia do rio Jaguari e do rio Piracicaba. Fonte: SOUZA, 2005.

As nascentes do rio Jaguari estão localizadas nos municípios de Camanducaia, Extrema, Itapeva e Toledo no Estado de Minas Gerais. De acordo com Souza (2005), a sub-bacia é classificada como Federal, pois o rio percorre dois Estados, quatro municípios em Minas Gerais e quinze municípios no Estado de São Paulo.

Os municípios do Estado de São Paulo banhados pela sub-bacia do rio Jaguari são: Artur Nogueira, Cosmópolis, Holambra, Santo Antônio de Posse, Pedra Bela, Bragança Paulista,

Tuiuti, Morungaba, Pedreira, Jaguariúna, Joanópolis, Vargem, Pinhalzinho, Monte Alegre do Sul e Amparo.

A sub-bacia do rio Jaguari possui  $7,20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de vazão disponível, sendo captados  $6,11 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e lançados  $1,59 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b), 2012).

A montante do Sistema Cantareira, a sub-bacia é classificada como especial, pois não há lançamento de águas residuais, domésticas e industriais, lixo ou qualquer outro poluente, mesmo tratado. A jusante do Sistema Cantareira o corpo hídrico é enquadrado na classe 2 (SOUZA, 2005).

Na ocupação do solo da sub-bacia do rio Jaguari (Figura 15) há predominância da área urbana e cultivo de pastagens, cana-de-açúcar e citros, principalmente laranja (SOUZA, 2005).

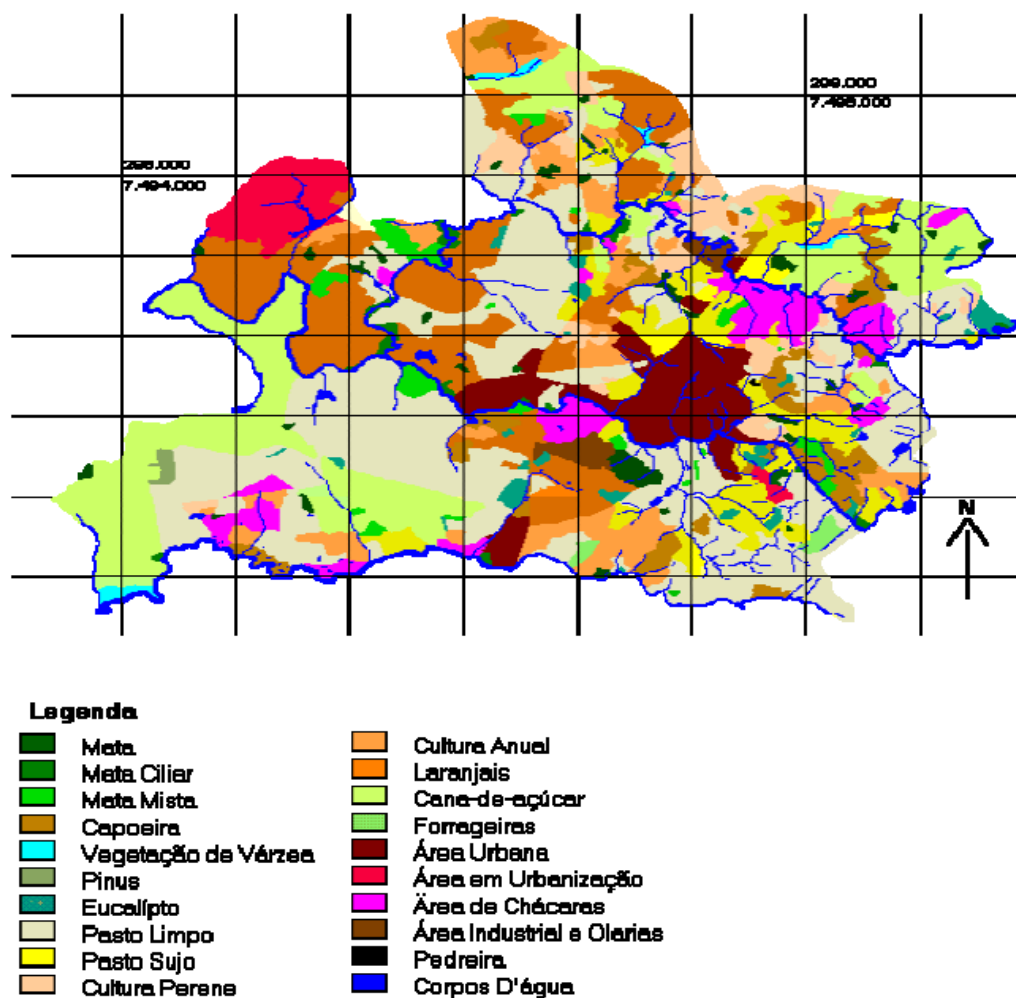


Figura 15 - Ocupação do solo da sub-bacia do rio Jaguari. Fonte: SOUZA, 2005.

Dentre as indústrias que captam água da sub-bacia, destacam-se, pela elevada quantidade de água captada, a Petrobrás com  $1,76 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e a Cia. Brasileira de Bebidas, em Jaguariúna-SP, captando  $0,33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . (CAROLO, 2007).

#### 4.4 A sub-bacia do ribeirão do Pinhal

O ribeirão do Pinhal, Figura 16, faz parte da sub-bacia do rio Jaguari que também abastece o município de Limeira-SP, e está localizado no município a  $22^{\circ}33'52''$  de latitude sul e  $47^{\circ}24'17''$  de longitude oeste.

Sua área é de 306,79 Km<sup>2</sup>, altitudes entre 520 e 740 m, rede hidrográfica de 257,40 Km e vazão em torno de 1,1 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> na época da estiagem (REGATTIERI, 2007; BRANDÃO, 2001; ALEIXO *et al.*, 2006).



Figura 16 - Localização da sub-bacia do Ribeirão do Pinhal. Fonte: MANSOR, 2005.

O ribeirão do Pinhal nasce no norte do município de Limeira, na divisa com os municípios de Araras e Cordeirópolis, e estende-se até a área urbana, paralelamente à rodovia Anhanguera, abrangendo os bairros: Egisto Ragazzo, Nova Limeira e Pinhal.

De acordo com dados da Foz do Brasil (2011), o trecho do ribeirão do Pinhal entre os bairros Egisto Ragazzo e Nova Limeira era o mais poluído, devido ao descarte de esgoto sem tratamento.



O ribeirão do Pinhal possui 37 Km de extensão e atinge sua foz no rio Jaguari na divisa dos municípios de Cosmópolis e Americana (Figura 17) (RUIZ, 2008).

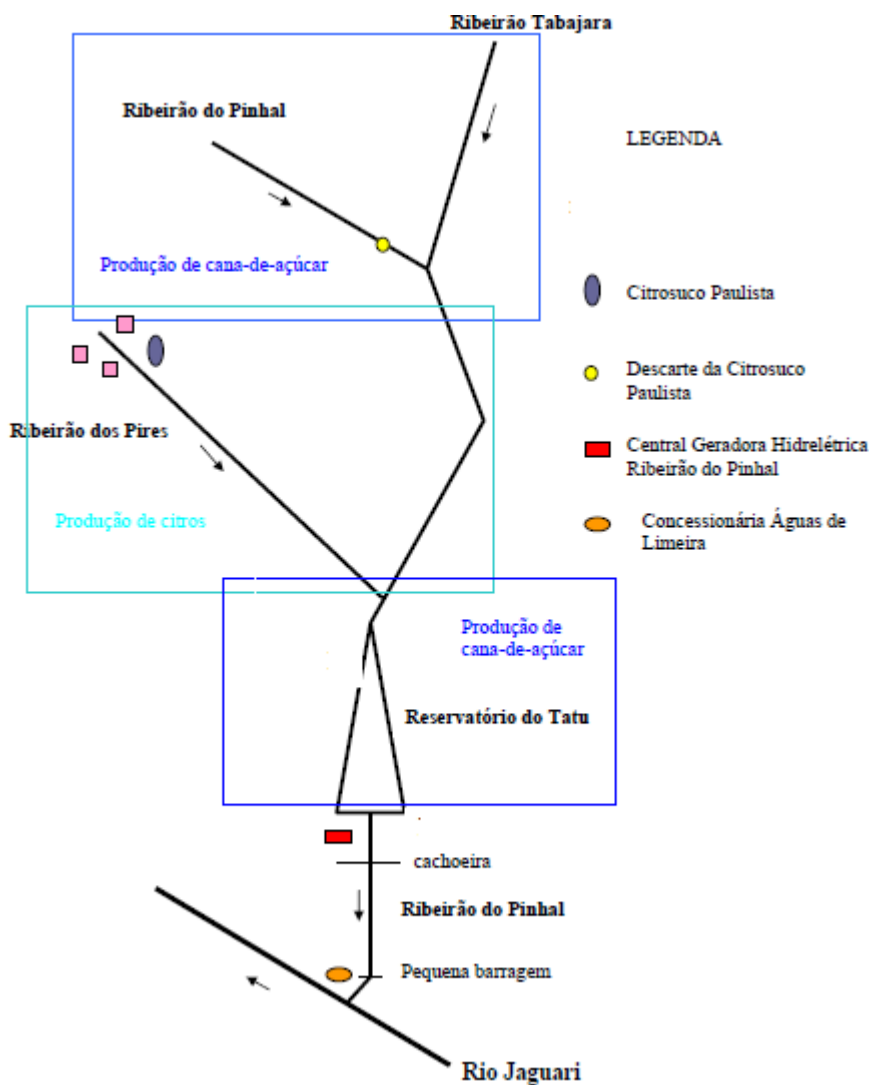


Figura 17 - Cenário que engloba o ribeirão do Pinhal. Adaptado de: MANSOR, 2005.

A declividade média é de 7,74%, ou seja, moderada, e sua a inclinação favorece um rápido escoamento superficial até os talvegues (TREFFT, 2006).

Os principais afluentes do ribeirão do Pinhal são o ribeirão Tabajara, contendo 17 quilômetros de extensão e o ribeirão dos Pires, com 18 quilômetros de extensão (FOZ DO BRASIL, 2011).

A captação de água do município de Limeira (Figura 11), cujo consumo médio são de 185 L/habitante/dia de água, é proveniente ora do rio Jaguari ora do ribeirão do Pinhal (VIOLANTE, 2011).

O ribeirão do Pinhal é uma fonte alternativa de abastecimento do município atendendo uma população de 278.093 habitantes, 269.796 residentes na área urbana (CETESB (g), 2012).

O volume de água produzida para o abastecimento do município é de 67.000,00 m<sup>3</sup>/dia armazenado em 24 reservatórios (PREFEITURA MUNICIPAL DE LIMEIRA, 2011; FOZ DO BRASIL (b), 2012).

O ribeirão do Pinhal se enquadra como um rio de classe 2, e juntamente com o rio Jaguari e é monitorado por uma sonda multi-parâmetros na Estação de Captação de Água Jaguari, que indica qual o rio apropriado para a captação de água no momento (FOZ DO BRASIL, 2011).

De acordo com Brandão (2001) e com a CETESB Limeira (2012), apenas a indústria Fischer S/A Comércio, Indústria e Agricultura, antes Citrossuco Paulista capta água e realiza o lançamento de efluentes na bacia conforme Figura 17.

Na Figura 18 pode ser observado o mapa da região que envolve as margens do ribeirão do Pinhal e a utilização das terras em seu entorno para cultivo de citros as quais ocupam uma área de aproximadamente 331,5 hectares.



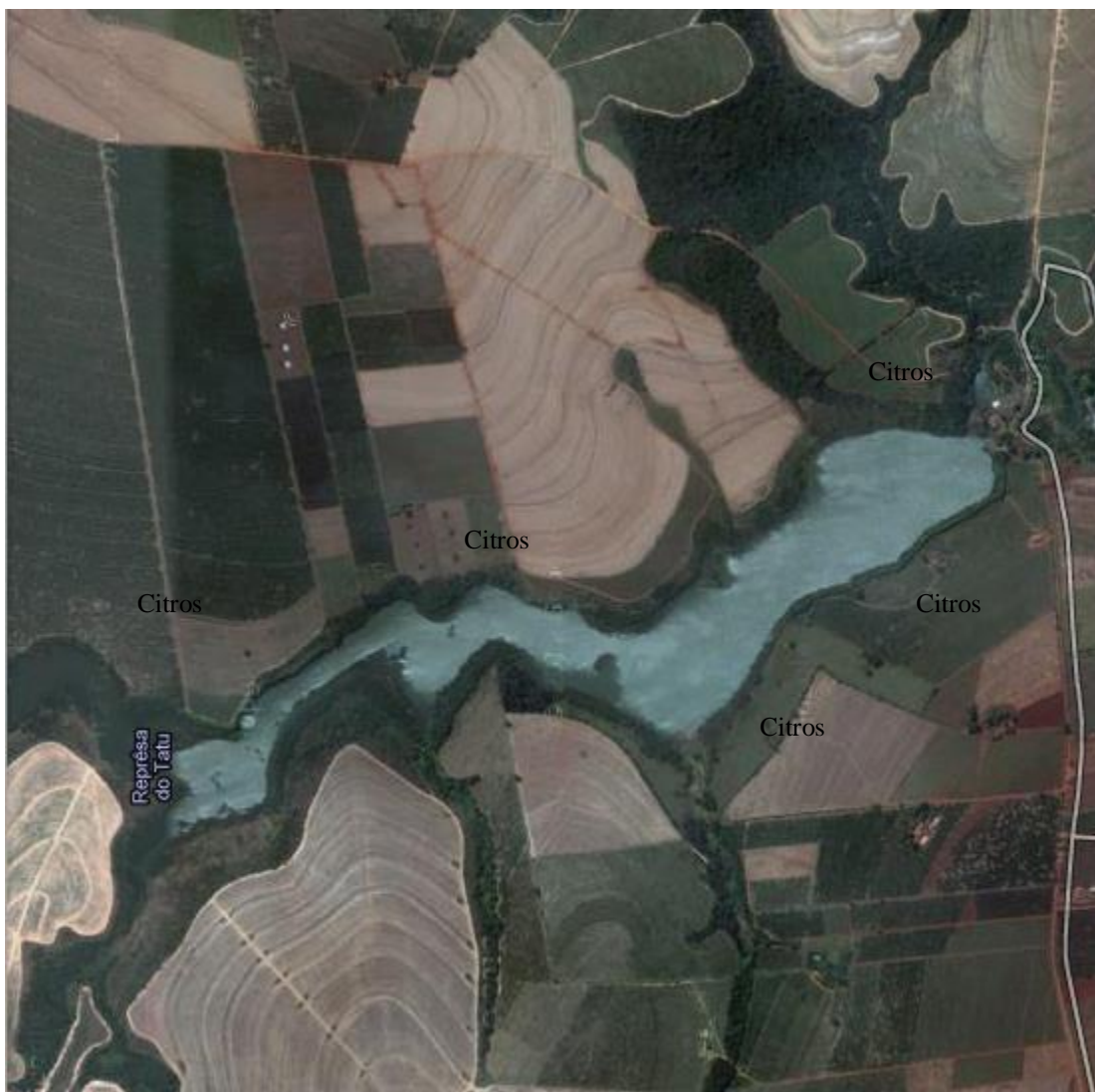


Figura 18 - Utilização das terras ao redor do reservatório do Tatu. Adaptado de: GOOGLE MAPS, 2012.

Segundo Mansor (2005) a porção de mata ciliar ao longo da margem do ribeirão é muito pequena, não atingindo a recomendação do código florestal (30 m de mata ciliar ao longo das margens e 50 m de mata ciliar em torno das nascentes).

A captação de água em Limeira localiza-se após o reservatório do Tatu, à jusante do ribeirão do Pinhal, próximo a confluência com o rio Jaguari.

O volume de água do reservatório do Tatu é utilizado para a geração de energia elétrica, assim, desde 2003, está localizada nele a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) ribeirão do Pinhal sob a posse da Companhia Energética Salto do Lobo Ltda. do grupo Engenharia e Pavimentação

Ltda. (ENGEP) produzindo 1.200 kW de potência instalada (MANSOR, 2005; ENGEP, 2012; ANEEL, 2012).

O reservatório do Tatu possui as dimensões de um pequeno lago artificial e é classificado como muito pequeno em relação à área superficial que é de 575.804,242 m<sup>2</sup>, ou seja, 0,5758 Km<sup>2</sup>. Sua capacidade de armazenamento de água é de 1.005.063,818 m<sup>3</sup>, e é classificado como pequeno em volume (esta classificação está contida na faixa especificada de 10<sup>6</sup> a 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>) (MANSOR, 2005; SMEA, 2010).

O reservatório possui 5,9 Km de comprimento, profundidade máxima de 6,50 m e sua batimetria pode ser observada na Figura 19 (SMEA, 2010; LIMA, 2012).

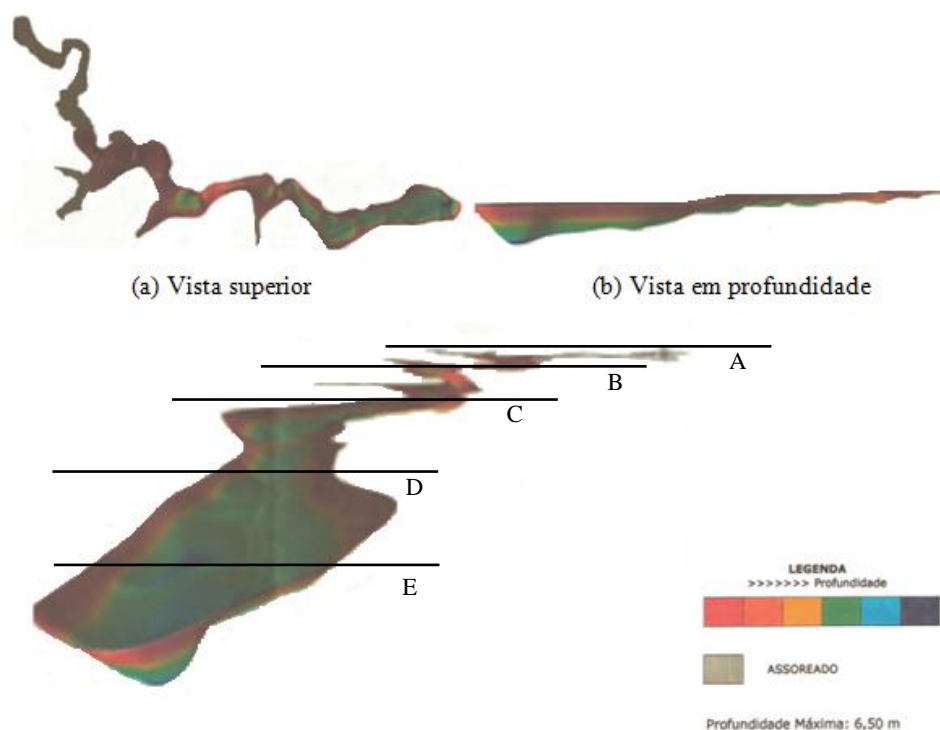


Figura 19 - Batimetria do reservatório do Tatu. Fonte: SMEA, 2010.

A referida batimetria favorece a determinação dos 5 compartimentos da represa considerados para a modelagem matemática cuja abordagem se dá na seção 6.1 deste estudo.

O fluxo medido em campo, em 2011, pela PCH ribeirão do Pinhal foi, em média, de 4,52 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (LIMA, 2012).

A montante do reservatório há uma área alagada a qual se deve, de acordo com Mansor (2005), à construção da barragem (à jusante do reservatório há uma barragem subterrânea).

A captação de água anual realizada no ribeirão do Pinhal pela Foz do Brasil no ano de 2011 foi de 16.377.854 m<sup>3</sup> e tem aumentado ano a ano (FOZ DO BRASIL (a), 2012).

Devido à grande importância do ribeirão do Pinhal para o município de Limeira foi instituído pela Prefeitura Municipal de Limeira a Lei Complementar nº 222 de 15 de Dezembro de 1999 visando a proteção, a preservação e a recuperação dos mananciais e da qualidade de suas águas.

A lei prevê compatibilizar a preservação dos mananciais, o uso e a ocupação do solo juntamente com o desenvolvimento socioeconômico, assegurando à atual, e às futuras gerações, a qualidade da água e o uso racional e sustentável.

Desta forma, foi criada a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais (APRM) do ribeirão do Pinhal onde são proibidos: os lançamentos de efluentes líquidos sanitários, industriais ou agrosilvipastoril; a captação de água superficial para atividades industriais, comerciais e de prestação de serviços; o desenvolvimento de atividades de mineração, o tratamento e disposição final de resíduos sólidos, indústrias, comércio e serviços geradores de efluentes líquidos, aterros sanitários e lixões, uso do solo para fins residenciais e extração de areia.

As áreas ao longo das nascentes são consideradas de preservação permanente. Nelas são proibidas implantação de edificações e a destruição da vegetação nativa.

Ao longo das águas correntes é obrigatória a existência de uma faixa de 30 m de cada lado das margens, no caso das nascentes é obrigatório a reserva da área inserida no raio de 50 m.

## 5 O ribeirão do Pinhal e a qualidade de suas águas

Sendo fonte de abastecimento público, juntamente com o rio Jaguari, de grande importância para o município de Limeira, a qualidade das águas do ribeirão Pinhal torna-se foco de monitoramentos e análises pelas agências.

Segundo a CETESB (2012) o monitoramento da qualidade da água superficial doce na UGRHI 5 foi iniciado em 1974, com 47 pontos de amostragem. Esse monitoramento foi ampliado e hoje conta com 354 pontos de amostragem de água superficial doce, 24 pontos de amostragem de sedimento, 30 pontos de amostragem para análise de balneabilidade de lagos e 12 pontos de amostragem de redes automáticas (CETESB (g), 2012).

Esse aumento do número de pontos amostrados foi necessário para ampliar a representatividade na bacia hidrográfica do Estado, juntamente com a frequência das coletas onde foram inseridos novos parâmetros no monitoramento da qualidade da água, baseando-se na Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (CETESB (f), 2011).

Na avaliação da qualidade da água são utilizados índices específicos os quais reúnem diversas variáveis num único parâmetro e fornecem uma visão geral da qualidade da água.

Condutividade, turbidez, nitrato, nitrogênio amoniacal, OD, DBO, fósforo total, coliformes termotolerantes e clorofila a, que indica o número de algas nos corpos hídricos, são as principais variáveis que determinam o lançamento de esgoto doméstico e de efluentes industriais.

Cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, mercúrio total, níquel total, zinco total e toxicidade estão relacionados aos efluentes industriais, sendo o teste de toxicidade uma forma indireta de determinação da presença de substâncias tóxicas.

Alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês total podem indicar aumento de processos erosivos causados por chuvas intensas e redução da extensão de mata ciliar, e o número de células de cianobactérias podem ser um alerta em relação a presença de toxinas que são liberadas para o corpo d'água.

O ponto de monitoramento da CETESB no ribeirão do Pinhal está localizado no reservatório do Tatu, canal de captação de água pela Foz do Brasil, latitude sul 22°39'35'' e longitude oeste 47°16'33'' (CETESB (g), 2012).

Os principais índices utilizados na avaliação da qualidade da água no ribeirão do Pinhal pela CETESB são: Índice de Qualidade da Água (IQA); Índice de Qualidade das Águas para fins de Abastecimento Público (IAP); Índice de Estado Trófico (IET) e Índice de Qualidade de Água para Proteção da Vida Aquática (IVA).

O IQA foi adaptado pela CETESB da “National Sanitation Foundation” dos Estados Unidos. É composto por nove variáveis que indicam o lançamento de esgoto doméstico ou de efluentes industriais de natureza biodegradável no corpo d’água.

De acordo com a CETESB (2011), as variáveis que compõem este índice são:

- temperatura da água;
- pH;
- OD;
- DBO;
- coliformes termotolerantes;
- nitrogênio total;
- fósforo total;
- resíduo total;
- turbidez (CETESB (c), 2011).

Os mananciais são monitorados ao longo do ano através de seis amostragens realizadas periodicamente.

O índice IQA é determinado nos 344 pontos de amostragem da UGRHI 5. No Ribeirão do Pinhal os índices só começaram a ser obtidos a partir de 2009, pois não havia monitoramento no local anteriormente (Tabela 1).

Tabela 1- IQA no ribeirão do Pinhal.

| <b>IQA</b>                         |             |             |             |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Índice de Qualidade da Água</b> |             |             |             |
|                                    | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> |
| <b>Janeiro</b>                     | 59,00       | 66,00       | 52,00       |
| <b>Fevereiro</b>                   | -           | -           | -           |
| <b>Março</b>                       | 56,00       | 55,00       | 43,00       |
| <b>Abril</b>                       | -           | -           | -           |
| <b>Mai</b>                         | 62,00       | 64,00       | 72,00       |
| <b>Junho</b>                       | -           | -           | -           |
| <b>Julho</b>                       | 70,00       | 69,00       | 76,00       |
| <b>Agosto</b>                      | -           | -           | -           |
| <b>Setembro</b>                    | 61,00       | 53,00       | 70,00       |
| <b>Outubro</b>                     | -           | -           | -           |
| <b>Novembro</b>                    | 41,00       | 74,00       | 72,00       |
| <b>Dezembro</b>                    | -           | -           | -           |
| <b>Média</b>                       | 58,00       | 63,00       | 64,00       |
| Ótimo: $79 < \text{IQA} \leq 100$  |             |             |             |
| Bom: $51 < \text{IQA} \leq 79$     |             |             |             |
| Regular: $36 < \text{IQA} \leq 51$ |             |             |             |
| Ruim: $19 < \text{IQA} \leq 36$    |             |             |             |
| Péssimo: $\text{IQA} \leq 19$      |             |             |             |

Fonte: CETESB (e), 2010; CETESB (f), 2011; CETESB (g), 2012.

De acordo com a Tabela 1, o índice IQA classifica a qualidade das águas do ribeirão como boa. Tendo-se a constatação, no período mencionado, de dois registros na categoria regular, ocorridos em novembro de 2009 e em março de 2011.

Com relação ao IAP, ele é utilizado como indicador da qualidade da água utilizada para fins de abastecimento público e é realizado nos pontos onde ocorre captação de água para esta finalidade (CETESB (c), 2011).

O IAP é composto pelas variáveis que indicam o lançamento de esgoto doméstico ou efluentes sanitários no corpo d'água, ou seja, pelo IQA, e por variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas e que alteram a qualidade organoléptica da água, contida no Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO), que contém as seguintes variáveis (CETESB (c), 2011):

a) variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas:

- potencial de formação de trihalometanos;
- número de células de cianobactérias (ambiente lântico);
- cádmio;
- chumbo;
- cromo total;
- mercúrio;
- níquel.

b) variáveis que alteram a qualidade organoléptica:

- ferro dissolvido;
- manganês;
- alumínio dissolvido;
- cobre dissolvido;
- zinco (CETESB (c), 2011).

O IAP é avaliado duas vezes em cada semestre. Na UGRHI 5, 74 pontos são amostrados, são os pontos onde há captação de água para abastecimento público (CETESB (f), 2011).

Seguem na Tabela 2 as medições realizadas nos anos de 2009 a 2011 realizado pela CETESB.

Tabela 2- IAP no ribeirão do Pinhal.

| <b>IAP</b>                                                            |             |             |             |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Índice de Qualidade de Água para fins de Abastecimento Público</b> |             |             |             |
|                                                                       | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> |
| <b>Janeiro</b>                                                        | 5,00        | 49,00       | 12,00       |
| <b>Fevereiro</b>                                                      | -           | -           | -           |
| <b>Março</b>                                                          | -           | -           | -           |
| <b>Abril</b>                                                          | -           | -           | -           |
| <b>Maio</b>                                                           | 53,00       | 61,00       | 38,00       |
| <b>Junho</b>                                                          | -           | -           | -           |
| <b>Julho</b>                                                          | 66,00       | 66,00       | 16,00       |
| <b>Agosto</b>                                                         | -           | -           | -           |
| <b>Setembro</b>                                                       | -           | -           | -           |
| <b>Outubro</b>                                                        | -           | -           | -           |
| <b>Novembro</b>                                                       | 8,00        | 60,00       | 39,00       |
| <b>Dezembro</b>                                                       | -           | -           | -           |
| <b>Média</b>                                                          | 33,00       | 59,00       | 26,00       |
| Ótimo: $79 < \text{IAP} \leq 100$                                     |             |             |             |
| Bom: $51 < \text{IAP} \leq 79$                                        |             |             |             |
| Regular: $36 < \text{IAP} \leq 51$                                    |             |             |             |
| Ruim: $19 < \text{IAP} \leq 36$                                       |             |             |             |
| Péssimo: $\text{IAP} \leq 19$                                         |             |             |             |

Fonte: CETESB (e), 2010; CETESB (f), 2011; CETESB (g), 2012.

De acordo com os dados, Tabela 2, verifica-se que no ano de 2009 ocorreram duas classificações do IAP na categoria “péssimo” e, desta forma, o ano foi classificado, na média, como ruim.

Em 2010, verifica-se apenas uma ocorrência “regular” e classificação média anual das águas é caracterizada como boa.

Em 2011, verificam-se duas classificações como “péssima” e duas como “regular”, desta forma, na média, a classificação é enquadrada como “ruim”.

Com relação ao índice IET, este é um índice que avalia a qualidade da água em relação ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito poderá causar excessivo crescimento das algas e cianobactérias (CETESB (c), 2011).



Os mananciais são monitorados ao longo do ano por meio de seis amostragens e em 2011 este processo passou a ser realizada quatro vezes ao ano.

As variáveis que compõe este índice são:

- clorofila;
- fósforo total (CETESB (c), 2011).

Os graus de trofia são classificados segundo a ANA (2011) da seguinte forma:

- ultraoligotrófico: são *“corpos d’água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água”*;
- oligotrófico: são *“corpos d’água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes”*;
- mesotrófico: são *“corpos d’água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos”*;
- eutrófico: são *“corpos d’água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos”*;
- supereutrófico: são *“corpos d’água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos”*;
- hipereutrófico: são *“corpos d’água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas”*.

No ribeirão do Pinhal o índice hipertrófico foi observado em 2010 como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - IET no ribeirão do Pinhal.

| IET                                |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Índice de Estado Trófico           |       |       |       |       |
|                                    | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  |
| <b>Janeiro</b>                     | 57,86 | 69,82 | 58,00 | 43,00 |
| <b>Fevereiro</b>                   | -     | -     | -     | -     |
| <b>Março</b>                       | 57,86 | 57,86 | 65,00 | -     |
| <b>Abril</b>                       | -     | -     | -     | -     |
| <b>Maió</b>                        | 57,86 | 63,56 | 70,00 | 41,00 |
| <b>Junho</b>                       | -     | -     | -     | -     |
| <b>Julho</b>                       | 49,50 | 57,86 | 68,00 | 55,00 |
| <b>Agosto</b>                      | -     | -     | -     | -     |
| <b>Setembro</b>                    | 57,31 | 63,56 | 73,00 | -     |
| <b>Outubro</b>                     | -     | -     | -     | -     |
| <b>Novembro</b>                    | 57,10 | 61,46 | 57,00 | 52,00 |
| <b>Dezembro</b>                    | -     | -     | -     | -     |
| <b>Média</b>                       | 55,58 | 62,35 | 65,00 | 48,00 |
| Ultraoligotrófico: $IET \leq 47$   |       |       |       |       |
| Oligotrófico: $47 < IET \leq 52$   |       |       |       |       |
| Mesotrófico: $52 < IET \leq 59$    |       |       |       |       |
| Eutrófico: $59 < IET \leq 63$      |       |       |       |       |
| Supereutrófico: $63 < IET \leq 67$ |       |       |       |       |
| Hipereutrófico: $IET > 67$         |       |       |       |       |

Fonte: CETESB (e), 2010; CETESB (f), 2011; CETESB (g), 2012.

Como pode ser observado na Tabela 3, no ano de 2008 houve uma única classificação como “oligotrófica”. As demais, inclusive a média, foram caracterizadas como “mesotróficas”. Em 2009 verifica-se uma classificação do IET como “hipereutrófico”, classificado na média como “eutrófico”.

Verifica-se em 2010, uma piora na classificação do IET, com três ocorrências de “hipereutrófico” e classificação média anual como “supereutrófico”.

No ano de 2011 houve uma classificação como “mesotrófico”, uma como “oligotrófico” e duas como “ultraoligotróficos”, ficando a média como “oligotrófico”, que significa uma melhora em relação ao ano de 2010.

O índice IVA utiliza a mesma metodologia que o IQA para a classificação da qualidade da água para a proteção da vida aquática. Este índice foi avaliado quatro vezes no ano de 2011 sem análises registradas pela CETESB nos anos anteriores.

Na média a qualidade da água foi obtida como ótima havendo apenas uma ocorrência como regular em julho de 2011 (CETESB (g), 2012).

As análises realizadas nas águas do ribeirão do Pinhal pela CETESB, entre 2008 e 2011, são apresentados nas Tabelas de 4 a 7. As análises realizadas foram bimestrais, realizadas em horários próximos sendo, a cada ano, incluídos diversos parâmetros para análise. Os resultados em vermelho indicam valores fora da faixa especificada pelo CONAMA 357/2005.

Em 2008, conforme consta na Tabela 4 o parâmetro OD apresentou resultados fora do especificado, sendo que das análises realizadas no decorrer do ano foram obtidos três resultados abaixo da especificação.

Nas análises realizadas em 2009 foram incluídos os parâmetros de: cor verdadeira, alcalinidade, alumínio dissolvido, alumínio total, ferro dissolvido, ferro total, manganês total, potencial de formação de trihalometanos, sólido dissolvido total, sólido total e transparência, conforme visualiza-se na Tabela 5.

Os parâmetros que apresentaram-se fora das especificações foram: alumínio dissolvido e ferro dissolvido com todos os resultados acima da especificação; cor verdadeira com dois resultados acima do especificado; fósforo total com quatro resultados acima do limite especificado; manganês total com três resultados acima do especificado; OD com quatro resultados abaixo do especificado e turbidez com um resultado acima da especificação.

Em 2010 foram acrescentadas às análises os parâmetros: arsênio total, cádmio total, COD, COT, chumbo total, cobre dissolvido, cobre total, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, níquel total, substâncias tensoativas e zinco total.

Desta forma, observa-se na Tabela 6 que os parâmetros que estiveram fora das especificações foram: alumínio dissolvido e ferro dissolvido com todos os resultados acima da especificação do CONAMA nº 357 de 2005; fósforo total com quatro resultados acima do limite

especificado; manganês total com um resultado acima da especificação; OD com um resultado abaixo do especificado e coliformes termotolerantes com dois resultados acima do especificado.

Tabela 4 – Caracterização periódica da qualidade da água do ribeirão do Pinhal no ano de 2008.

|                                        | Unidade    | Especificação Padrão<br>CONAMA | 2008    |         |         |         |         |         |
|----------------------------------------|------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Data da coleta                         |            |                                | 30/jan  | 5/mar   | 28/mai  | 2/jul   | 10/set  | 24/nov  |
| Hora                                   |            |                                | 11:00   | 11:00   | 10:45   | 11:15   | 11:00   | 11:15   |
| Chuva 24 h                             | -          |                                | Sim     | Não     | Não     | Não     | Não     | Sim     |
| Alcalinidade total                     | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Alumínio dissolvido                    | mg/L       | Máximo 0,10                    | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Alumínio total                         | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Arsênio total                          | mg/L       | Máximo 0,01                    | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Bário total                            | mg/L       | Máximo 0,7                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Cádmio total                           | mg/L       | Máximo 0,001                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| COD                                    | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| COT                                    | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Chumbo total                           | mg/L       | Máximo 0,01                    | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Cloreto total                          | mg/L       | Máximo 250,00                  | 3,99    | 4,26    | 4,16    | 3,39    | 3,30    | 3,82    |
| Clorofila a                            | µg/L       | Máximo 30                      | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Cobre dissolvido                       | mg/L       | Máximo 0,009                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Cobre total                            | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Coliformes termotolerantes             | UFC/100 mL | Máximo 1000,00                 | < 1,80  | 130,00  | 36,00   | < 1,80  | 170,00  | 400,00  |
| Coloração                              | -          |                                | Marrom  | Marrom  | Amarela | Amarela | Amarela | Amarela |
| Condutividade                          | µS/cm      |                                | 56,40   | 59,30   | 45,30   | 52,40   | 66,00   | 94,40   |
| Cor verdadeira                         | mg Pt/L    | Máximo 75,00                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Cromo total                            | mg/L       | Máximo 0,05                    | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| DBO (5, 20)                            | mg/L       | Máximo 5,00                    | < 3,00  | < 3,00  | < 3,00  | < 3,00  | < 3,00  | < 3,00  |
| DQO                                    | mg/L       |                                | < 50,00 | < 50,00 | < 50,00 | < 50,00 |         |         |
| Dureza                                 | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Ens. Ecotoxic. c/ Ceriodaphnia dubia   |            | Não tóxico                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Fenóis totais                          | mg/L       | Máximo 0,003                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Feofitina a                            | µg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Ferro dissolvido                       | mg/L       | Máximo 0,30                    | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Ferro total                            | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Fósforo total                          | mg/L       | Máximo 0,10                    | 0,10    | 0,10    | 0,10    | < 0,02  | 0,09    | 0,04    |
| Manganês total                         | mg/L       | Máximo 0,10                    | -       | -       | -       | -       |         | -       |
| Mercurio total                         | mg/L       | Máximo 0,0002                  | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Níquel total                           | mg/L       | Máximo 0,025                   | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Nitrato                                | mg/L       | Máximo 10,00                   | 1,50    | 9,00    | 5,50    | 0,84    | 1,00    | 0,22    |
| Nitrito                                | mg/L       | Máximo 1,00                    | 0,009   | 0,02    | 0,005   | < 0,01  | < 0,005 | < 0,01  |
| Nitrogênio amoniacal                   | mg/L       | Máximo 2,00                    | -       | -       | -       | -       | 0,10    | -       |
| Nitrogênio amoniacal                   | mg/L       | Máximo 3,70                    | 0,80    | 1,00    | < 0,05  | < 0,10  | -       | 1,15    |
| NKT                                    | mg/L       |                                | 0,80    | 2,00    | 2,00    | 0,53    | 0,50    | 1,74    |
| OD                                     | mg/L       | Mínimo 5,00                    | 4,30    | 3,60    | 6,00    | 6,40    | 7,60    | 3,10    |
| pH                                     | U.pH       | 6,00 - 9,00                    | 6,40    | 6,50    | 6,40    | 6,00    | 7,60    | 6,90    |
| Potássio                               | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Potencial de formação de Trihalometano | µg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Sódio                                  | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Sólido dissolvido total                | mg/L       | Máximo 500,00                  | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Sólido total                           | mg/L       |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Substâncias tensoativas                | mg/L       | Máximo 0,5                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Temperatura da água                    | °C         |                                | 23,40   | 26,70   | 19,50   | 19,00   | 22,80   | 25,00   |
| Temperatura do ar                      | °C         |                                | 26,50   | 28,90   | 24,10   | 23,10   | 20,00   | 28,30   |
| Transparência                          | m          |                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
| Turbidez                               | UNT        | Máximo 100,00                  | 23,80   | 23,40   | 8,91    | 7,62    | 3,94    | 7,78    |
| Zinco total                            | mg/L       | Máximo 0,18                    | -       | -       | -       | -       | -       | -       |

Fonte: CETESB (i), 2008.

Tabela 5 - Caracterização periódica da qualidade da água do ribeirão do Pinhal no ano de 2009.

|                                        | Unidade    | Especificação Padrão<br>CONAMA | 2009   |        |         |         |         |        |
|----------------------------------------|------------|--------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| Data da coleta                         |            |                                | 14/jan | 4/mar  | 20/mai  | 28/jul  | 22/set  | 24/nov |
| Hora                                   |            |                                | 10:25  | 10:45  | 11:30   | 10:10   | 11:05   | 10:00  |
| Chuva 24 h                             | -          |                                | Não    | Não    | Não     | Não     | Sim     | Sim    |
| Alcalinidade total                     | mg/L       |                                | -      | -      | 15,80   | 30,10   | 23,80   | 24,50  |
| Alumínio dissolvido                    | mg/L       | Máximo 0,10                    | 2,00   | 0,40   | 0,60    | 0,20    | 0,20    | 3,00   |
| Alumínio total                         | mg/L       |                                | 2,00   | 0,70   | 2,00    | 0,60    | 0,50    | 16,00  |
| Arsênio total                          | mg/L       | Máximo 0,01                    | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Bário total                            | mg/L       | Máximo 0,7                     | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Cádmio total                           | mg/L       | Máximo 0,001                   | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| COD                                    | mg/L       |                                | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| COT                                    | mg/L       |                                | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Chumbo total                           | mg/L       | Máximo 0,01                    | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Cloreto total                          | mg/L       | Máximo 250,00                  | 4,25   | 3,59   | 4,06    | 4,04    | 3,24    | 4,21   |
| Clorofila a                            | µg/L       | Máximo 30                      | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Cobre dissolvido                       | mg/L       | Máximo 0,009                   | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Cobre total                            | mg/L       |                                | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Coliformes termotolerantes             | UFC/100 mL | Máximo 1000,00                 | 168,00 | 232,00 | 152,00  | 248,00  | 160,00  | 400,00 |
| Coloração                              | -          |                                | Marrom | Marrom | Amarela | Amarela | Amarela | Marrom |
| Condutividade                          | µS/cm      |                                | 59,50  | 58,30  | 51,50   | 79,70   | 71,70   | 68,90  |
| Cor verdadeira                         | mg Pt/L    | Máximo 75,00                   | 115,00 | -      | 26,80   | 20,90   | -       | 135,00 |
| Cromo total                            | mg/L       | Máximo 0,05                    | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| DBO (5, 20)                            | mg/L       | Máximo 5,00                    | < 3,00 | < 3,00 | < 3,00  | < 3,00  | 3,00    | < 3,00 |
| DQO                                    | mg/L       |                                | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Dureza                                 | mg/L       |                                | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Ens. Ecotoxic. c/ Ceriodaphnia dubia   |            | Não tóxico                     | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Fenóis totais                          | mg/L       | Máximo 0,003                   | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Feofitina a                            | µg/L       |                                | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Ferro dissolvido                       | mg/L       | Máximo 0,30                    | 2,00   | 0,90   | 0,70    | 0,60    | 2,00    | 2,00   |
| Ferro total                            | mg/L       |                                | 3,00   | 3,00   | 2,00    | 1,00    | 3,00    | 10,00  |
| Fósforo total                          | mg/L       | Máximo 0,10                    | 1,00   | 0,10   | 0,30    | 0,10    | 0,30    | 0,20   |
| Manganês total                         | mg/L       | Máximo 0,10                    | 0,30   | 0,20   | 0,07    | 0,05    | 0,10    | 0,30   |
| Mercúrio total                         | mg/L       | Máximo 0,0002                  | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Níquel total                           | mg/L       | Máximo 0,025                   | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Nitrato                                | mg/L       | Máximo 10,00                   | 0,50   | 0,50   | 0,50    | 0,40    | 0,40    | 0,40   |
| Nitrito                                | mg/L       | Máximo 1,00                    | 0,01   | 0,03   | < 0,005 | < 0,005 | 0,006   | 0,01   |
| Nitrogênio amoniacal                   | mg/L       | Máximo 2,00                    | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Nitrogênio amoniacal                   | mg/L       | Máximo 3,70                    | 0,70   | 0,40   | 0,70    | 0,30    | 0,20    | 0,20   |
| NKT                                    | mg/L       |                                | 0,80   | 0,50   | 0,90    | 0,50    | 0,40    | 0,30   |
| OD                                     | mg/L       | Mínimo 5,00                    | 6,40   | 2,90   | 4,60    | 5,50    | 4,20    | 1,90   |
| pH                                     | U.pH       | 6,00 - 9,00                    | 7,00   | 7,40   | 6,90    | 7,10    | 6,80    | 6,50   |
| Potássio                               | mg/L       |                                | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Potencial de formação de Trihalometano | µg/L       |                                | 649,00 | -      | 227,00  | 220,00  | -       | 508,00 |
| Sódio                                  | mg/L       |                                | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Sólido dissolvido total                | mg/L       | Máximo 500,00                  | 97,00  | 60,50  | 65,00   | 87,80   | 91,00   | 179,00 |
| Sólido total                           | mg/L       |                                | 108,00 | 76,00  | 76,00   | 93,00   | 100,00  | 252,00 |
| Substâncias tensoativas                | mg/L       | Máximo 0,5                     | -      | -      | -       | -       | -       | -      |
| Temperatura da água                    | °C         |                                | 24,90  | 27,10  | 20,40   | 20,60   | 24,10   | 26,40  |
| Temperatura do ar                      | °C         |                                | 29,50  | 31,00  | 26,20   | 25,10   | 24,80   | 28,50  |
| Transparência                          | m          |                                | 0,30   | 0,60   | 0,60    | 1,00    | 0,50    | 0,10   |
| Turbidez                               | UNT        | Máximo 100,00                  | 60,40  | 21,30  | 28,70   | 9,85    | 29,50   | 269,00 |
| Zinco total                            | mg/L       | Máximo 0,18                    | -      | -      | -       | -       | -       | -      |

Fonte: CETESB (h), 2009.

Tabela 6 - Caracterização periódica da qualidade da água do ribeirão do Pinhal no ano de 2010.

|                                        | Unidade    | Especificação Padrão<br>CONAMA | 2010    |          |           |         |           |           |
|----------------------------------------|------------|--------------------------------|---------|----------|-----------|---------|-----------|-----------|
|                                        |            |                                | 18/jan  | 3/mar    | 19/mai    | 22/jul  | 21/set    | 23/nov    |
| Data da coleta                         |            |                                | 10:35   | 10:30    | 10:15     | 10:00   | 11:40     | 11:00     |
| Hora                                   |            |                                | 10:35   | 10:30    | 10:15     | 10:00   | 11:40     | 11:00     |
| Chuva 24 h                             | -          |                                | Sim     | Sim      | Sim       | Não     | Não       | Sim       |
| Alcalinidade total                     | mg/L       |                                | 34,30   | 16,10    | 12,60     | 22,30   | 27,00     | 34,00     |
| Alumínio dissolvido                    | mg/L       | Máximo 0,10                    | 0,60    | 1,00     | 0,30      | 0,20    | 0,30      | 0,60      |
| Alumínio total                         | mg/L       |                                | 5,00    | 3,00     | 0,50      | 0,50    | 0,30      | 2,00      |
| Arsênio total                          | mg/L       | Máximo 0,01                    | -       | -        | < 0,002   | < 0,002 | < 0,002   | < 0,002   |
| Bário total                            | mg/L       | Máximo 0,7                     | -       | -        | -         | -       | -         | -         |
| Cádmio total                           | mg/L       | Máximo 0,001                   | -       | -        | < 0,001   | < 0,001 | < 0,001   | < 0,001   |
| COD                                    | mg/L       |                                | -       | -        | 1,72      | 4,46    | 3,93      | 7,58      |
| COT                                    | mg/L       |                                | -       | -        | 1,86      | 5,61    | 5,73      | 9,66      |
| Chumbo total                           | mg/L       | Máximo 0,01                    | -       | -        | < 0,01    | < 0,01  | < 0,01    | < 0,01    |
| Cloreto total                          | mg/L       | Máximo 250,00                  | 5,03    | 3,22     | 3,95      | 4,20    | 3,19      | 3,30      |
| Clorofila a                            | µg/L       | Máximo 30                      | -       | -        | -         | -       | -         | -         |
| Cobre dissolvido                       | mg/L       | Máximo 0,009                   | -       | -        | < 0,001   | < 0,001 | 0,003     | 0,004     |
| Cobre total                            | mg/L       |                                | -       | -        | < 0,001   | < 0,001 | 0,003     | 0,005     |
| Coliformes termotolerantes             | UFC/100 mL | Máximo 1000,00                 | 152,00  | 1600,00  | 116,00    | 40,00   | 2800,00   | 80,00     |
| Coloração                              | -          |                                | Amarela | Marrom   | Amarela   | Verde   | Verde     | Amarela   |
| Condutividade                          | µS/cm      |                                | 62,00   | 47,90    | 44,60     | 67,40   | 83,30     | 88,30     |
| Cor verdadeira                         | mg Pt/L    | Máximo 75,00                   | 56,50   | -        | 20,70     | 31,00   | -         | 49,00     |
| Cromo total                            | mg/L       | Máximo 0,05                    | -       | -        | < 0,007   | < 0,007 | < 0,007   | < 0,007   |
| DBO (5, 20)                            | mg/L       | Máximo 5,00                    | < 3,00  | < 3,00   | < 3,00    | < 3,00  | < 2,00    | < 2,00    |
| DQO                                    | mg/L       |                                | -       | -        | -         | -       | -         | -         |
| Dureza                                 | mg/L       |                                | -       | -        | -         | -       | -         | -         |
| Ens. Ecotoxic. c/ Ceriodaphnia dubia   |            | Não tóxico                     | -       | -        | -         | -       | -         | -         |
| Fenóis totais                          | mg/L       | Máximo 0,003                   | -       | -        | < 0,002   | < 0,002 | 0,003     | < 0,002   |
| Feofitina a                            | µg/L       |                                | -       | -        | -         | -       | -         | -         |
| Ferro dissolvido                       | mg/L       | Máximo 0,30                    | 0,80    | 0,80     | 0,40      | 0,40    | 0,60      | 1,00      |
| Ferro total                            | mg/L       |                                | 3,00    | 4,00     | 1,00      | 1,00    | 0,80      | 2,00      |
| Fósforo total                          | mg/L       | Máximo 0,10                    | 0,10    | 0,40     | 1,00      | 0,70    | 2,00      | 0,09      |
| Manganês total                         | mg/L       | Máximo 0,10                    | 0,20    | 0,10     | 0,10      | 0,10    | 0,10      | 0,08      |
| Mercurio total                         | mg/L       | Máximo 0,0002                  | -       | -        | < 0,00012 | -       | < 0,00012 | < 0,00012 |
| Níquel total                           | mg/L       | Máximo 0,025                   | -       | -        | < 0,01    | < 0,01  | < 0,01    | < 0,01    |
| Nitrato                                | mg/L       | Máximo 10,00                   | 0,40    | 0,30     | 0,40      | 0,50    | 0,91      | 0,69      |
| Nitrito                                | mg/L       | Máximo 1,00                    | 0,006   | 0,007    | < 0,006   | < 0,01  | < 0,01    | 0,01      |
| Nitrogênio amoniacal                   | mg/L       | Máximo 2,00                    | -       | -        | -         | -       | -         | -         |
| Nitrogênio amoniacal                   | mg/L       | Máximo 3,70                    | 0,20    | 1,00     | 0,30      | 0,30    | 0,70      | 0,20      |
| NKT                                    | mg/L       |                                | 0,60    | 1,00     | 0,50      | 0,40    | 0,70      | 0,30      |
| OD                                     | mg/L       | Mínimo 5,00                    | 4,30    | 6,40     | 7,00      | 6,50    | 6,60      | 5,00      |
| pH                                     | U.pH       | 6,00 - 9,00                    | 6,60    | 6,70     | 7,50      | 7,20    | 7,10      | 7,00      |
| Potássio                               | mg/L       |                                | -       | -        | -         | -       | -         | -         |
| Potencial de formação de Trihalometano | µg/L       |                                | 281,00  | -        | 113,00    | 220,00  | -         | 380,00    |
| Sódio                                  | mg/L       |                                | -       | -        | -         | -       | -         | -         |
| Sólido dissolvido total                | mg/L       | Máximo 500,00                  | 82,00   | < 100,00 | 61,00     | 57,00   | 58,00     | 100,00    |
| Sólido total                           | mg/L       |                                | 90,00   | 120,00   | 76,00     | 64,00   | 60,00     | 104,00    |
| Substâncias tensoativas                | mg/L       | Máximo 0,5                     | -       | -        | < 0,06    | 0,30    | < 0,06    | 0,07      |
| Temperatura da água                    | °C         |                                | 29,00   | 24,90    | 19,30     | 21,70   | 22,80     | 26,10     |
| Temperatura do ar                      | °C         |                                | 28,70   | 28,80    | 20,70     | 25,20   | 30,80     | 28,20     |
| Transparência                          | m          |                                | 0,50    | 0,20     | 0,80      | 0,70    | 0,60      | 0,70      |
| Turbidez                               | UNT        | Máximo 100,00                  | 36,80   | 97,20    | 13,30     | 17,00   | 10,20     | 13,70     |
| Zinco total                            | mg/L       | Máximo 0,18                    | -       | -        | < 0,002   | 0,004   | < 0,002   | 0,003     |

Fonte: CETESB (a), 2010.

Tabela 7 - Caracterização periódica da qualidade da água do ribeirão do Pinhal no ano de 2011.

|                                        | Unidade    | Especificação Padrão<br>CONAMA | 2011       |          |            |            |         |            |
|----------------------------------------|------------|--------------------------------|------------|----------|------------|------------|---------|------------|
|                                        |            |                                | 10/jan     | 2/mar    | 17/mai     | 27/jul     | 20/set  | 23/nov     |
| Data da coleta                         |            |                                | 10:45      | 09:50    | 11:00      | 09:45      | 10:05   | 09:55      |
| Chuva 24 h                             | -          |                                | Sim        | Sim      | Não        | Não        | Não     | Sim        |
| Alcalinidade total                     | mg/L       |                                | 12,66      | -        | 15,60      | 35,20      | -       | 20,50      |
| Alumínio dissolvido                    | mg/L       | Máximo 0,10                    | 0,70       | -        | < 0,1      | 0,20       | -       | 1,00       |
| Alumínio total                         | mg/L       |                                | 12,00      | -        | 0,77       | 0,40       | -       | 4,00       |
| Arsênio total                          | mg/L       | Máximo 0,01                    | < 0,002    | -        | < 0,005    | < 0,005    | -       | < 0,005    |
| Bário total                            | mg/L       | Máximo 0,7                     | 0,06       | -        | 0,06       | 0,07       | -       | 0,10       |
| Cádmio total                           | mg/L       | Máximo 0,001                   | < 0,001    | -        | < 0,002    | 0,003      | -       | < 0,001    |
| COD                                    | mg/L       |                                | 6,37       | 4,29     | 2,11       | 2,62       | 4,87    | 4,16       |
| COT                                    | mg/L       |                                | 6,20       | 4,30     | 1,91       | 3,17       | 5,34    | 5,13       |
| Chumbo total                           | mg/L       | Máximo 0,01                    | < 0,01     | -        | 0,02       | 0,06       | -       | < 0,01     |
| Cloreto total                          | mg/L       | Máximo 250,00                  | 2,51       | 2,96     | 3,44       | 3,24       | 4,93    | 4,00       |
| Clorofila a                            | µg/L       | Máximo 30                      | < 0,01     | -        | < 0,01     | 2,49       | -       | 2,14       |
| Cobre dissolvido                       | mg/L       | Máximo 0,009                   | 0,005      | -        | < 0,009    | < 0,001    | -       | 0,004      |
| Cobre total                            | mg/L       |                                | 0,007      | -        | < 0,01     | 0,001      | -       | 0,004      |
| Coliformes termotolerantes             | UFC/100 mL | Máximo 1000,00                 | 1600,00    | 16000,00 | 240,00     | 171,00     | 614,00  | 200,00     |
| Coloração                              | -          |                                | Marrom     | Marrom   | Verde      | Verde      | Amarela | Marrom     |
| Condutividade                          | µS/cm      |                                | 47,20      | 62,30    | 45,00      | 66,30      | 90,60   | 65,90      |
| Cor verdadeira                         | mg Pt/L    | Máximo 75,00                   | 867,00     | -        | 6,90       | 21,00      | -       | 70,80      |
| Cromo total                            | mg/L       | Máximo 0,05                    | 0,02       | -        | < 0,02     | < 0,007    | -       | < 0,03     |
| DBO (5, 20)                            | mg/L       | Máximo 5,00                    | 2,00       | 3,00     | < 2,00     | < 2,00     | 2,00    | < 2,00     |
| DQO                                    | mg/L       |                                | -          | -        | -          | -          | -       | -          |
| Dureza                                 | mg/L       |                                | 13,00      | -        | -          | 64,00      | -       | 16,00      |
| Ens. Ecotoxic. c/ Ceriodaphnia dubia   |            | Não tóxico                     | Não tóxico | -        | Não tóxico | Não tóxico | -       | Não tóxico |
| Fenóis totais                          | mg/L       | Máximo 0,003                   | 0,003      | -        | < 0,002    | < 0,002    | -       | 0,002      |
| Feofitina a                            | µg/L       |                                | 5,61       | -        | 4,12       | 2,99       | -       | 5,72       |
| Ferro dissolvido                       | mg/L       | Máximo 0,30                    | 0,70       | -        | 0,50       | 0,24       | -       | 0,70       |
| Ferro total                            | mg/L       |                                | 12,00      | -        | 1,46       | 0,90       | -       | 3,00       |
| Fósforo total                          | mg/L       | Máximo 0,10                    | 0,200      | 0,300    | 0,100      | 0,029      | 0,020   | 0,013      |
| Manganês total                         | mg/L       | Máximo 0,10                    | 0,200      | -        | 0,07       | 0,04       | -       | 0,100      |
| Mercúrio total                         | mg/L       | Máximo 0,0002                  | < 0,00012  | -        | < 0,00012  | < 0,00011  | -       | < 0,00011  |
| Níquel total                           | mg/L       | Máximo 0,025                   | < 0,010    | -        | < 0,020    | 0,008      | -       | < 0,010    |
| Nitrato                                | mg/L       | Máximo 10,00                   | 0,31       | 0,55     | 0,55       | 0,52       | 1,12    | 0,60       |
| Nitrito                                | mg/L       | Máximo 1,00                    | 0,010      | 0,030    | < 0,01     | < 0,01     | 0,050   | < 0,006    |
| Nitrogênio amoniacal                   | mg/L       | Máximo 2,00                    | -          | -        | -          | -          | -       | -          |
| Nitrogênio amoniacal                   | mg/L       | Máximo 3,70                    | 0,20       | 0,30     | 0,40       | 0,40       | 0,40    | 0,30       |
| NKT                                    | mg/L       |                                | 0,40       | 1,00     | 0,90       | 0,60       | 1,00    | 0,90       |
| OD                                     | mg/L       | Mínimo 5,00                    | 6,50       | 6,80     | 6,00       | 6,90       | 5,30    | 5,90       |
| pH                                     | U.pH       | 6,00 - 9,00                    | 7,50       | 6,90     | 6,90       | 7,70       | 7,20    | 6,90       |
| Potássio                               | mg/L       |                                | 3,00       | -        | 1,36       | 8,00       | -       | 3,00       |
| Potencial de formação de Trihalometano | µg/L       |                                | 498,00     | -        | 405,00     | 143,00     | -       | 419,00     |
| Sódio                                  | mg/L       |                                | 2,00       | -        | 2,67       | 28,00      | -       | 3,00       |
| Sólido dissolvido total                | mg/L       | Máximo 500,00                  | 173,00     | 100,00   | 74,50      | 133,00     | 104,00  | 96,00      |
| Sólido total                           | mg/L       |                                | 269,00     | 318,00   | 79,00      | 147,00     | 120,00  | 117,00     |
| Substâncias tensoativas                | mg/L       | Máximo 0,5                     | 0,09       | -        | < 0,06     | 0,20       | -       | 0,06       |
| Temperatura da água                    | °C         |                                | 25,80      | 24,40    | 21,00      | 19,50      | 23,30   | 24,70      |
| Temperatura do ar                      | °C         |                                | 32,90      | 23,90    | 22,30      | 22,60      | 27,50   | 26,50      |
| Transparência                          | m          |                                | 0,05       | 0,20     | 0,60       | 1,00       | 0,90    | 0,04       |
| Turbidez                               | UNT        | Máximo 100,00                  | 257,00     | 261,00   | 11,20      | 8,66       | 6,99    | 42,30      |
| Zinco total                            | mg/L       | Máximo 0,18                    | 0,020      | -        | < 0,020    | 0,010      | -       | 0,006      |

Fonte: CETESB (b), 2011.



Nas análises realizadas de 2011 foram incluídos os parâmetros: bário total, clorofila a, dureza, ensaio ecotoxicológico com *Ceriodaphnia dubia*, feofitina a, potássio e sódio. Deixaram de serem realizadas as análises COD e COT conforme visualiza-se na Tabela 7.

Desta forma, os parâmetros que estiveram fora do especificado foram: alumínio dissolvido e ferro dissolvido com três resultados acima do especificado; chumbo total, fósforo total, turbidez e coliformes termotolerantes com dois resultados acima da especificação; cádmio, cor verdadeira e manganês total com um resultado acima do especificado.

Fazendo-se uma análise mais criteriosa, ao longo das tabelas, verifica-se que os parâmetros que frequentemente se apresentaram fora das especificações foram: alumínio dissolvido, ferro dissolvido e fósforo total. Dentre estes, ressalta-se a importância do fósforo para o município de Limeira, pois as atividades agrícolas acentuadas na produção de laranja e de cana-de-açúcar colocam a correção do nutriente em evidência. O fósforo é um mineral, indispensável nas plantações, muito comumente utilizado, e, ao sofrer lixiviação, pode causar sérios problemas de eutrofização num corpo aquático. Desta forma, o fósforo total será utilizado nas simulações matemáticas que serão realizadas para geração de cenários e discussões do quadro que se estabelece na bacia do ribeirão Pinhal.

## 6 Os procedimentos da modelagem matemática

Os processos de modelagem consistem na representação de fenômenos diversos, inclusive os que acontecem na natureza, através de instrumentos matemáticos (MEYER *et al.*, 2011; IRITANI, 1998; BONGANHA, 2007; BASSANEZI, 2002; YUE *et al.*, 2011).

De acordo com Iritani (1998) esses processos normalmente acontecem através de um modelo conceitual, idealizado com base no levantamento e interpretação de dados e observações do sistema real. De acordo com diversos estudos da literatura, os trabalhos via modelagem têm como objetivo proporcionar melhor compreensão do sistema abordado, possibilitando prever situações futuras, e, algumas vezes, passadas (POLETTI, 2009; OLIVEIRA, 2003; INFORZATO, 2008).

Através da modelagem matemática, diversos fenômenos podem ser quantificados e, em muitos aspectos, fornecem novas maneiras de ver os problemas e de se avaliar estratégias de ação. Por esta razão, cada vez mais constata-se a utilização destas técnicas nos estudos de impactos ambientais, onde estão sendo cada vez mais utilizadas (MEYER, 2003).

O principal motivo da implantação e do uso da modelagem matemática e computacional em estudos ambientais pode ser entendido no trecho de Cleary (1991): “(...) *os modelos matemáticos empregam uma equação ou uma série de equações que simulam e prevêm respostas físico-químicas (...)*”, esse desenvolvimento tecnológico influencia diretamente em benefícios sociais e econômicos uma comunidade e até mesmo um país.

Em geral, a modelagem matemática é aplicada em trabalhos onde há diversos fatores que estão inter-relacionados e onde possa contribuir em tomadas de decisões (NASCIMENTO e HELLER, 2005).

Atualmente a modelagem matemática é amplamente utilizada nas áreas ambientais para a geração de cenários para estudos, tanto por matemáticos quanto por biólogos e outros profissionais (BERNARDES, 1998; DINIZ, 2002).

Verifica-se que estudos desta natureza tornam-se cada vez mais comuns e reconhecidos pela sua abordagem e importância (Jornal da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), edição nº 520; Rede Anhanguera de Comunicação (RAC), dia 04/05/2012).

O uso de equações matemáticas e ensaios computacionais estão sujeitos a limitações e podem não descrever fielmente o fenômeno em estudo obtendo-se assim uma solução aproximada, as quais são utilizadas em tomada de decisão para medidas que contribuam para garantir a qualidade da água, na redução de incertezas em estudos de sistemas existentes, de concepções e de dimensionamento de soluções de poluição (POLETTI, 2009; (NASCIMENTO e HELLER, 2005; MEYER, 2003; BERNARDES, 1998).

Entretanto a grande preocupação dos pesquisadores é com a precisão e veracidade dos parâmetros utilizados nos estudos de uma forma geral e, por isso, estão em busca de valores significativos para simulações de cenários compatíveis com a realidade (POLETTI, 2009; BASSANEZI, 2002).

## **6.1 O modelo a ser utilizado**

O modelo aqui utilizado é baseado em um sistema de equações de diferenças. De acordo com Alves (2009), no caso de medidas obtidas em intervalos regulares e não continuamente, semanalmente, mensalmente ou até anualmente, pode-se aplicar as equações de diferenças, as quais permitem mais facilidade nas resoluções analíticas ou nas aproximações numéricas. Além disso, o cenário local é monitorado em períodos esparsos o que reforça a escolha de ferramentas da matemática discreta.

Segundo Edelstein (1988) a equação de diferença é a primeira idealização matemática de um fenômeno biológico, pois contempla a modelagem de diversos eventos biológicos que podem ser modelados por esta equação e a melhor aplicação para ela ocorre naquela população em que à medida que os adultos vão morrendo há a substituição por seus descendentes em intervalos fixos.

Assim como proposto por Meyer (2003), consideramos a represa homeomorfa a um retângulo (Figura 20), desta forma, a avaliação da concentração de poluentes tem a seguinte representação:

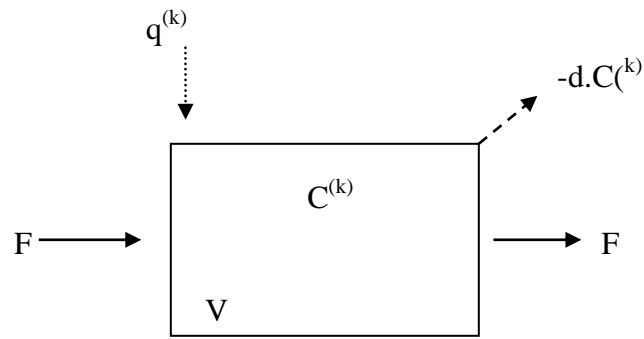


Figura 20 - Representação de represa homeomorfa à um retângulo.

Onde:

- $d$ : representa a taxa de degradação;
- $V$ : representa o volume da represa;
- $F$ : indica o fluxo do rio que entra e que sai;
- $C$ : indica a quantidade de poluente no tempo atual ( $k$ ) ou no tempo futuro ( $k + 1$ );
- $q$ : representa o aporte de poluente lançado.

Desta forma, a quantidade de poluente existente ( $C$ ) na represa no tempo futuro ( $k + 1$ ) pode ser representada como a quantidade de poluente existente, menos a quantidade de poluente que saiu com o fluxo do rio, menos a quantidade que se degradou, mais o aporte de poluição que ocorreu (CARNIATO, 2009; ALVES, 2009).

Matematicamente tem-se:

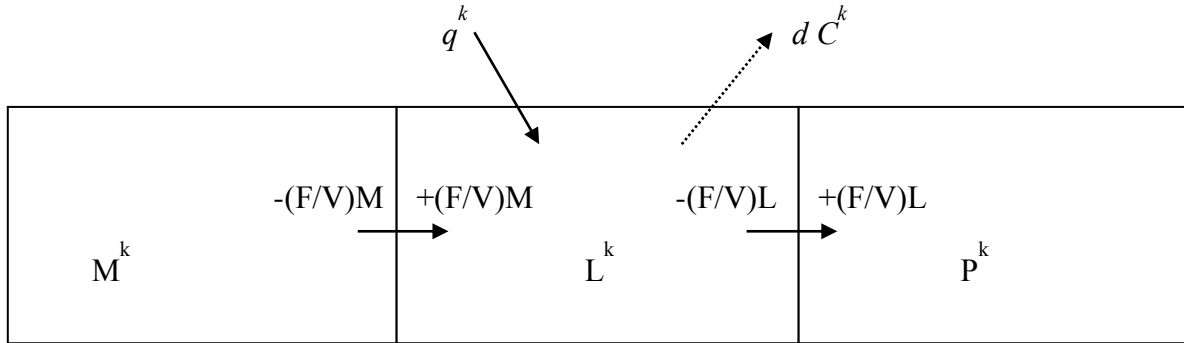
$$C^{k+1} = C^k - \frac{F}{V}C^k - dC^k + q^k \quad (1)$$

Este modelo, embora simples, pois não considera correntes, ventos, movimentos do poluente por difusão, interações com o sedimento, as margens entre outros fenômenos, permite o estudo da presença de poluente em corpos aquáticos de baixa circulação, é utilizado pela principal agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, a Environmental Protection Agency (EPA) e em institutos europeus de pesquisa (INFORZATO, 2008).

O coeficiente  $F/V$  indica uma homogeneização instantânea onde o poluente se espalha por toda a represa. Entretanto, na prática, não ocorre dessa forma, há regiões em que não há poluentes. Assim, para evitar este problema, o processo segue dividindo-se a represa em  $x$  compartimentos, os quais são considerados individualmente (INFORZATO, 2008).

Desta maneira, cada compartimento é avaliado com o que recebe dos compartimentos vizinhos e com o que perde para esses compartimentos. Procedendo-se desta forma, obtém-se um sistema de  $x$  equações (ALVES, 2009).

Para a simulação do comportamento evolutivo de um poluente, um trecho do rio pode ter um número genérico de compartimentos, Figura 21.



**Figura 21** - Compartimento geral de um corpo aquático. Adaptado de: ALVES, 2009.

Desta forma, a concentração do poluente no compartimento  $L$ , no tempo  $k + 1$ , Figura 21, pode ser descrita genericamente, através de equação de diferença, dada por:

$$L^{k+1} = \left(1 - \frac{F_L}{V_L} - d\right) L^k + q^k + \frac{F_M}{V_M} M^k \quad (2)$$

Onde:

- $L^{k+1}$ : concentração de poluentes no instante futuro ( $k + 1$ );
- $\left(1 - \frac{F_L}{V_L} - d\right) L^k$ : concentração de poluente no instante atual ( $L^k$ ) menos o que sai do compartimento  $L$  com o fluxo menos o que é degradado ( $d$ );
- $\frac{F_M}{V_M} M^k$ : o que vem com o fluxo do compartimento  $M$ ;
- $q^k$ : representa as fontes poluidoras.

Assim, através de um sistema de equações de diferenças, propõe-se o presente estudo de modelagem matemática favorecendo análises do comportamento da concentração de fósforo, no reservatório do Tatu. O referido reservatório foi dividido em 5 compartimentos resultando, então, no sistema de 5 equações dadas por:

$$\begin{aligned}
A^{k+1} &= \left(1 - \frac{F_1}{V_1} - d_1\right) A^k + q_1^k \\
B^{k+1} &= \left(1 - \frac{F_2}{V_2} - d_2\right) B^k + A^k \frac{F_1}{V_1} + q_2^k \\
C^{k+1} &= \left(1 - \frac{F_3}{V_3} - d_3\right) C^k + B^k \frac{F_2}{V_2} + q_3^k \\
D^{k+1} &= \left(1 - \frac{F_4}{V_4} - d_4\right) D^k + C^k \frac{F_3}{V_3} + q_4^k \\
E^{k+1} &= \left(1 - \frac{F_5}{V_5} - d_5\right) E^k + D^k \frac{F_4}{V_4} + q_5^k
\end{aligned} \tag{3}$$

A principal ideia desta modelagem é a de compreender fenômeno, além de propor reflexões acerca da qualidade da água de um manancial de extrema relevância para o município, no tocante à quantidade de fósforo.

## 6.2 Os parâmetros da equação

### 6.2.1 O fósforo

A acentuada atividade agrícola da produção de laranja e outros citros, bem como cana-de-açúcar, requer aplicações diversas de fósforo na correção de deficiências do solo. Desta forma, o referido componente foi tomado para estudo e reflexão.

O fósforo é um mineral indispensável nas plantações e, fora das especificações normativas, na água, pode causar a eutrofização do corpo aquático ao sofrer processos de lixiviação ou escoamento superficial.

A adubação realizada por agricultores visa fornecer à cultura a quantidade de nutrientes necessária ao bom desenvolvimento da plantação e que não estão disponíveis no solo. Desta forma, a fosfatagem é indicada, principalmente para solos arenosos, com teor de argila < 20%, com baixa capacidade de retenção de fósforo e baixo teor de nutrientes.

O solo é classificado em classes de acordo com o teor de argila, conforme Tabela 8. Já o teor de fósforo varia conforme o teor de argila veja Tabela 9 (SCIVITTARO *et al.*, 2011; SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL, 2004).

Tabela 8 - Teores de argila.

| Faixa       | Classe |
|-------------|--------|
| $\leq 20\%$ | 4      |
| 21% - 40%   | 3      |
| 41% - 60%   | 2      |
| $\geq 60\%$ | 1      |

Adaptado de: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL, 2004.

Tabela 9 - Interpretação do teor de fósforo no solo conforme o teor de argila.

| Interpretação | Classe de solo conforme o teor de argila |                |                 |                 |
|---------------|------------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
|               | 1                                        | 2              | 3               | 4               |
|               | $\text{mg m}^{-3}$                       |                |                 |                 |
| Muito baixo   | $\leq 2.000$                             | $\leq 3.000$   | $\leq 4.000$    | $\leq 7.000$    |
| Baixo         | 2.100 – 4.000                            | 3.100 – 6.000  | 4.100 – 8.000   | 7.100 – 14.000  |
| Médio         | 4.100 – 6.000                            | 6.100 – 9.000  | 8.100 – 12.000  | 14.100 – 21.000 |
| Alto          | 6.100 – 12.000                           | 9.100 – 18.000 | 12.100 – 24.000 | 21.100 – 42.000 |
| Muito alto    | $> 12.000$                               | $> 18.000$     | $> 24.000$      | $> 42.000$      |

Adaptado de: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL, 2004.

O fósforo é um nutriente essencial para que as plantas tenham uma boa produtividade, entretanto, de acordo com Bortolon (2009), apenas 15 a 30% do fósforo aplicado como fertilizantes fosfatados é aproveitado na agricultura.

Para o solo de classe 4 as doses indicadas de aplicação de fósforo no cultivo de citros são determinadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Adubação fosfatada em pré-plantio de citros.

| Teor de fósforo no solo | Dose de fósforo<br>(Kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Muito baixo             | 180                                                                        |
| Baixo                   | 120                                                                        |
| Médio                   | 80                                                                         |
| Alto                    | 60                                                                         |
| Muito alto              | 0                                                                          |

Adaptado de: SCIVITTARO et al., 2011.

No processo, as plantas absorvem o fósforo do solo nas formas de ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Tal componente é essencial para a divisão celular, reprodução e metabolismo vegetal (fotossíntese, respiração e síntese de substâncias orgânicas) (BORTOLON, 2009).

O fósforo é um dos poucos elementos que possui pouca mobilidade no solo, movimentando-se apenas por difusão a curtas distâncias, assim as perdas por lixiviação em solos agricultáveis são consideradas insignificantes. O principal caminho de perdas de fósforo na agricultura ocorre via escoamento superficial, influenciado pela quantidade de resíduos orgânicos (dejetos) aplicados e pelo intervalo entre a aplicação e o escoamento superficial.

A relação entre a quantidade de fósforo e o estado de eutrofização de um corpo hídrico pode ser visualizada na Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação do estado trófico de rios.

| <b>Estado trófico</b> | <b>Ponderação</b>         | <b>Fósforo (<math>\text{mg m}^{-3}</math>)</b> |
|-----------------------|---------------------------|------------------------------------------------|
| Ultraoligotrófico     | $\text{IET} \leq 47$      | $\text{P} \leq 13$                             |
| Oligotrófico          | $47 < \text{IET} \leq 52$ | $13 < \text{P} \leq 35$                        |
| Mesotrófico           | $52 < \text{IET} \leq 59$ | $35 < \text{P} \leq 137$                       |
| Eutrófico             | $59 < \text{IET} \leq 63$ | $137 < \text{P} \leq 296$                      |
| Supereutrófico        | $63 < \text{IET} \leq 67$ | $296 < \text{P} \leq 640$                      |
| Hipereutrófico        | $\text{IET} > 67$         | $640 < \text{P}$                               |

Adaptado de: CETESB (c), 2011.

O movimento do fósforo é influenciado pela textura do solo, pela quantidade de água aplicada, pelo tempo de aplicação, pela quantidade de fósforo aplicado e pelo manejo do solo. Entretanto, essa movimentação pode ser alterada e elevada quando ocorrem altas doses de fertilização mineral com adição de resíduos orgânicos (FARIA *et al.*, 1993; BASSO, 2003).

Na época das chuvas a superfície do solo com pequena rugosidade superficial, facilita o escoamento superficial, o que pode provocar grandes problemas de erosão, ocorrendo o transporte do fósforo contido no material orgânico e nas partículas de solo para o ambiente aquático.

Nos agroecossistemas o fósforo é mais facilmente transferido para as águas do que nas áreas cobertas por florestas principalmente através do escoamento da água durante os eventos pluviométricos.



É difícil determinar qual a profundidade que contribui para a transferência do fósforo do solo para a água, pois há diversos fatores que influenciam: variação na intensidade e na duração das chuvas, intervalo de tempo entre os eventos, vazão, tipo de solo, índice de cobertura vegetal, entre outros.

A dinâmica do fósforo em rios e riachos pode ser diferente daquela que ocorre em reservatórios e lagos devido o fósforo depositado nos sedimentos, pois nos rios a dessorção do fósforo é facilitada pela ressuspensão dos sedimentos pela turbulência das águas, já nos reservatórios, pelas condições de oxi-redução e da atividade de organismos bentônicos.

Visto que a erosão é causada principalmente pelas chuvas, declividade do terreno e capacidade do solo de absorver a água (BRANDÃO, 2001). A perda de fósforo nesse caso pode ser pequena, ocorrendo geralmente por escoamento superficial como acontece em uma enxurrada, mas ao atingir um corpo aquático em quantidade superior a  $100 \text{ mg m}^{-3}$ , deteriora a qualidade deste podendo, em pouco tempo, fazer com que o ambiente se torne eutrófico, alterando sua qualidade organoléptica e gerando um elevado custo para o tratamento (BORTOLON, 2009).

### **6.2.2 A determinação das variáveis**

Os parâmetros adotados nesta pesquisa buscaram aproximar a situação estudada para a geração dos cenários.

Para a simulação do comportamento evolutivo do poluente no reservatório do Tatu considerou-se o comprimento da represa de 5,9 Km e seu respectivo volume de 1.005.063, 818  $\text{m}^3$  e fluxo médio (do ano de 2011) de  $4,52 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (SMEA, 2010; LIMA, 2012).

Como mencionado anteriormente, a represa foi dividida em 5 compartimentos de acordo com sua batimetria.

A batimetria do reservatório obtida na SMEA (2010) de Limeira também possibilitou uma aproximação para o cálculo do fluxo e do volume de cada compartimento adotado.

Desta forma, segue na Tabela 12 os valores determinados para cada compartimento.

Tabela 12 - Volume e fluxo em cada compartimento.

| <b>Compartimento</b>                         | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>E</b> |
|----------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>                | 78.163   | 93.810   | 184.080  | 224.200  | 424.800  |
| <b>Fluxo (m<sup>3</sup>dia<sup>-1</sup>)</b> | 30.371   | 36.451   | 71.526   | 87.115   | 165.060  |

Dados fornecidos pela CETESB possibilitaram a determinação do ingresso de fósforo no reservatório do Tatu. De acordo com os dados apresentados na Tabela 13, verifica-se a concentração de fósforo no período de 2008 a 2011 (CETESB (i), 2008; CETESB (h), 2009; CETESB (a), 2010; CETESB (b), 2011).

Tabela 13 - Concentração do aporte de fósforo, q, em mg m<sup>-3</sup> medido entre 2008 e 2011 pela CETESB, aporte médio e taxa de variação, Δq.

| <b>Aporte (q) (mg m<sup>-3</sup>)</b>                                           | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Jan</b>                                                                      | 100         | 1.000       | 100         | 200         |
| <b>Mar</b>                                                                      | 100         | 100         | 400         | 300         |
| <b>Mai</b>                                                                      | 100         | 300         | 1.000       | 100         |
| <b>Jul</b>                                                                      | 20          | 100         | 700         | 29          |
| <b>Set</b>                                                                      | 90          | 300         | 2.000       | 20          |
| <b>Nov</b>                                                                      | 40          | 200         | 90          | 13          |
| <b>Aporte médio anual</b>                                                       | 75          | 333         | 715         | 110         |
| <b>Aporte médio anual por compartimento</b>                                     | 15          | 67          | 143         | 22          |
| <b>Aporte médio anual por compartimento com desconto de 10%</b>                 | 14          | 60          | 129         | 20          |
| <b>Aporte médio entre 2008 e 2011 por compartimento com desconto de 10% (q)</b> | 56          |             |             |             |
| <b>Média de todos os valores entre 2008 e 2011</b>                              | 308         |             |             |             |
| <b>Concentração inicial</b>                                                     | 154         |             |             |             |
| <b>Taxa de variação do aporte (Δq) (mg m<sup>-3</sup>)</b>                      | 46          |             |             |             |

Fonte: CETESB (i), 2008; CETESB (h), 2009; CETESB (a), 2010; CETESB (b), 2011.

A concentração inicial considerada foi de 154 mg m<sup>-3</sup>, a qual representa 50% da média da concentração de fósforo obtida entre 2008 e 2011. Esta foi adotada considerando-se outras

formas de perdas de fósforo que possam ter ocorrido, por diversos fenômenos, inclusive para a margem.

A simulação computacional teve como aporte duas situações: uma considerando o aporte  $q$  fixo, sendo este a média de 2008 a 2011, por compartimento com degradação de 10% e a outra considerando uma possível forma de variação do aporte, modelado através da função:

$$q(n) = \bar{q} + \Delta q * \text{sen}\left(\frac{n\pi}{26}\right) \quad (4)$$

Onde:

- $\bar{q}$ : representa o aporte médio entre 2008 e 2011 por compartimento com degradação de 10%;
- $\Delta q$ : representa a taxa de variação do período;
- $n$ : número de semanas.

A variável  $\Delta q$  foi obtida através da determinação do desvio padrão do aporte médio entre 2008 e 2011 por compartimento com degradação de 10%, obtendo-se o valor de  $46 \text{ mg m}^{-3}$ .

A simulação considerou um período equivalente a 52 semanas. Desta forma, a segunda situação, com o aporte variando ao longo do ano e com o modelamento através da função seno, possibilitou a geração de cenários com períodos de maior ingresso de poluente, considerado, desta forma, principalmente, pelo processo de escoamento superficial e lixiviação, e outros períodos de menor ingresso de aporte.

Assim, determinado o modelo, baseado em um sistema com cinco equações, uma para cada compartimento, considerando as possíveis interferências de um no outro tais como perda ou ganho de concentração de fósforo, foram realizadas as simulações baseadas nos valores obtidos das análises e medições.

Para a degradação que ocorre por fenômenos tais como a biodegradação, a fotodegradação, a degradação por ações mecânicas entre outros fenômenos, tomou-se, hipoteticamente os valores de 1%, 5% e 10% (ALVES, 2009).

## 7 Ensaios computacionais e discussões

Através do uso de equações de diferenças foram, então, realizados os experimentos computacionais gerando cenários da concentração de fósforo no reservatório do Tatu, localizado na bacia do ribeirão do Pinhal, Limeira-SP.

Tais experimentos foram obtidos, utilizando-se o software Matlab, cujos códigos desenvolvidos seguem no Apêndice, favorecendo estudos da mesma natureza que podem ser utilizados, explorados e/ou modelificados pelo leitor.

As simulações realizadas consideraram concentração inicial em todos os compartimentos igual a  $154 \text{ mg m}^{-3}$ , aporte  $(q) = 56 \text{ mg m}^{-3}$ , variação  $(\Delta q) = 46 \text{ mg m}^{-3}$  e um período de 52 semanas.

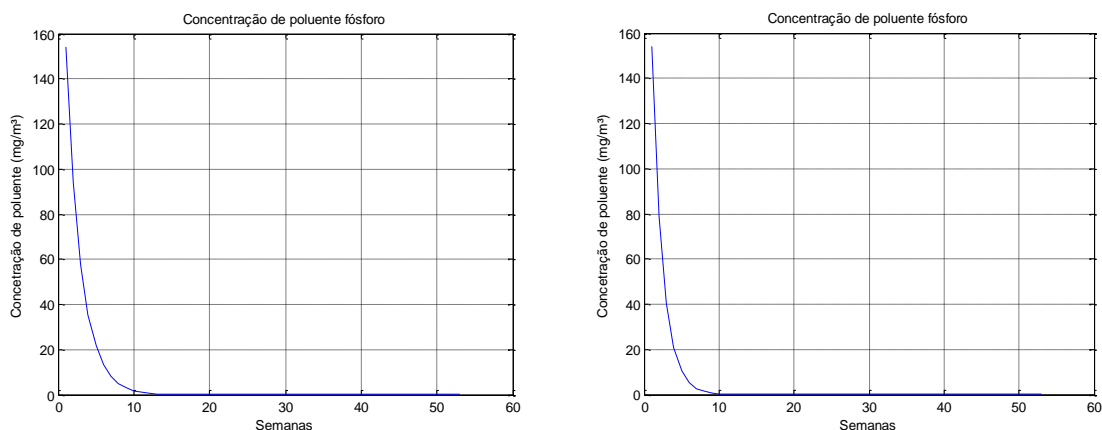
Todos os parâmetros utilizados foram discutidos na seção anterior e foram baseados nos dados obtidos de análise quantitativa do fósforo total realizados pela CETESB (Tabela 13).

### 7.1 Cenário com único compartimento

Inicialmente, como teste, simulações foram realizadas tendo-se o reservatório como um único compartimento com o intuito de se testar o programa e de se ter uma ideia geral do sistema local.

#### 7.1.1 Primeiro ensaio

No primeiro ensaio foi adotado aporte nulo e degradação igual a 0% e a 10% respectivamente, Figura 22 (a) e (b).



(a) Degradação de 0%.

(b) Degradação de 10%.

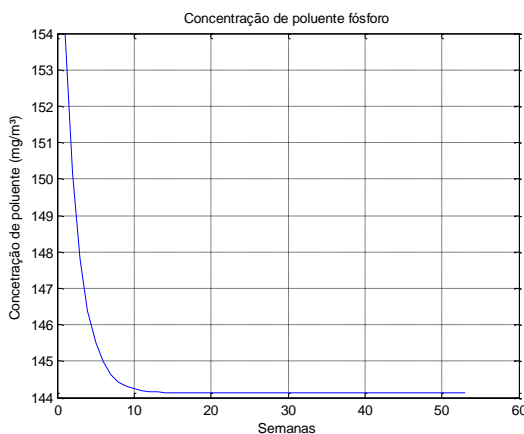
Figura 22 - Simulação para dois valores de degradação, aporte nulo e fixo.

Desta forma, verifica-se que a concentração de poluente decai, gradativamente, até o valor 0, fenômeno que ocorre na 13<sup>a</sup> semana no cenário (a) e na 10<sup>a</sup> semana no cenário (b); tendo-se em vista que: não ocorre ingresso de poluente; que embora exista uma concentração inicial do mesmo, permanecem os processos de degradação os quais “eliminam” o poluente do cenário, juntamente com fluxo das águas que seguem.

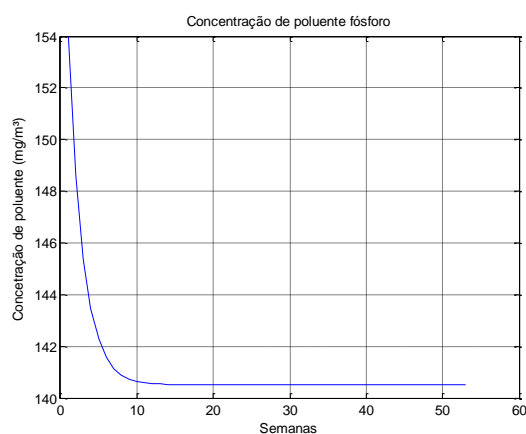
Observe que para que a concentração do poluente fosse reduzida ao valor considerado pelas agências de monitoramento da qualidade das águas,  $100 \text{ mg m}^{-3}$ , o valor limite admitido para o poluente fósforo, foram necessárias, aproximadamente um período de 3 semanas em ambos os casos.

### 7.1.2 Segundo ensaio

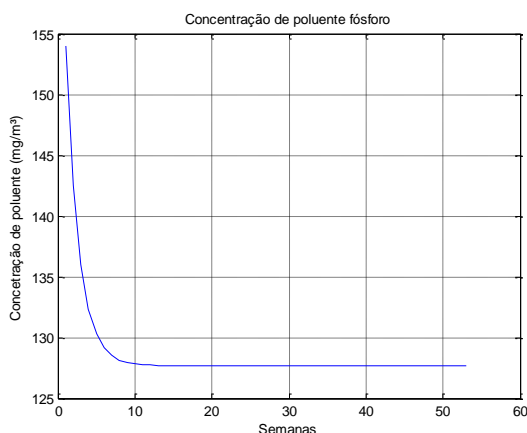
Ainda, representando o sistema por um único reservatório, mas com aporte de  $56 \text{ mg m}^{-3}$  e com concentração inicial de  $154 \text{ mg m}^{-3}$ , foram obtidos os seguintes cenários com degradação igual a 0%, 1%, 5% e 10% respectivamente, Figuras 23 (a), (b), (c) e (d), compondo o segundo ensaio.



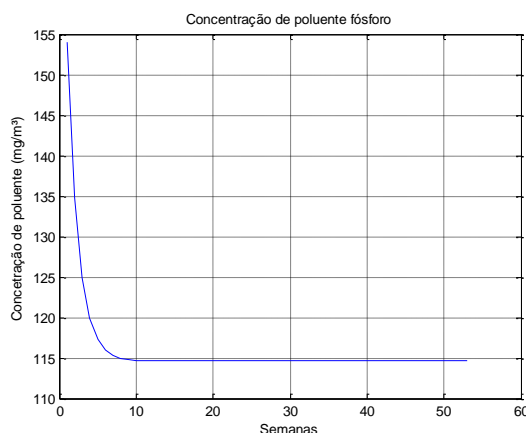
(a) Degradação de 0%.



(b) Degradação de 1%.



(c) Degradação de 5%.



(d) Degradação de 10%.

Figura 23 - Simulação para quatro valores de degradação e aporte fixo.

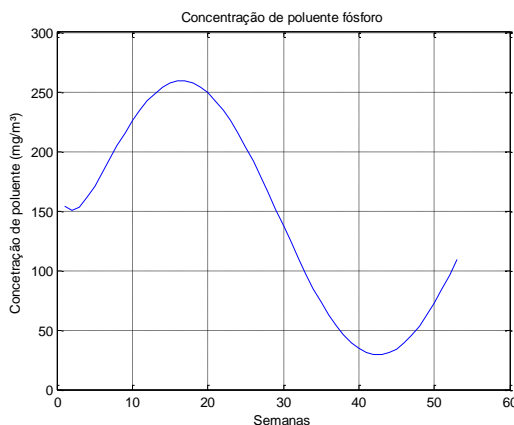
Desta forma, constata-se que o sistema, nos quatro cenários gerados, assume certa estabilidade, entretanto, em todos os casos, acima do limite aceitável. Verifica-se ao longo das semanas que, de acordo com o potencial de degradação, o comportamento da concentração do poluente decai até certo limite e, a partir daí, mantém-se constante.

Observe que no cenário (a), o poluente demora 13 semanas para que a concentração inicial seja reduzida de  $154 \text{ mg m}^{-3}$  para  $144 \text{ mg m}^{-3}$ , conforme Figura 24. No cenário (b), considerando-se degradação de 1%, são necessárias 12 semanas para que o poluente seja reduzido da mesma concentração inicial para  $140,5 \text{ mg m}^{-3}$ ; com degradação de 5% são necessárias 10 semanas para que a concentração atingisse  $128 \text{ mg m}^{-3}$ , cenário (c), e, finalmente no cenário (d), são necessárias 8 semanas para que a concentração de poluentes assumisse o valor de  $115 \text{ mg m}^{-3}$ .

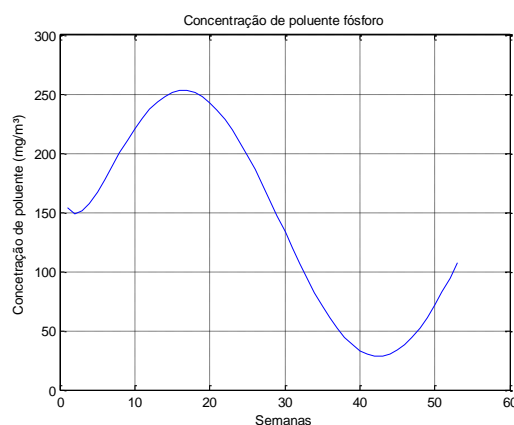
O cenário (d) é o que apresenta a maior redução da concentração de poluente. Nele verifica-se uma redução de 25,3%, ou seja, um quarto do poluente sofreu degradação. Entretanto, conforme inicialmente mencionado, em nenhum dos quatro cenários a concentração do poluente fósforo ficou igual ou inferior a  $100 \text{ mg m}^{-3}$ , que é a concentração máxima permitida pelos órgãos governamentais para este poluente no corpo d'água.

### 7.1.3 Terceiro ensaio

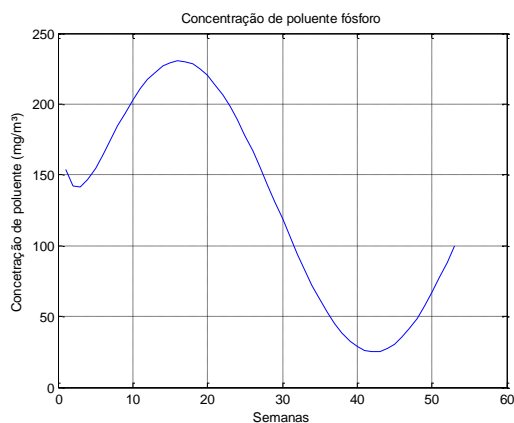
Ao se considerar o ingresso do poluente variando conforme apresentado na Equação 4, tem-se o terceiro ensaio com degradação de 0%, 1%, 5% e 10% respectivamente, Figura 24 (a), (b), (c) e (d).



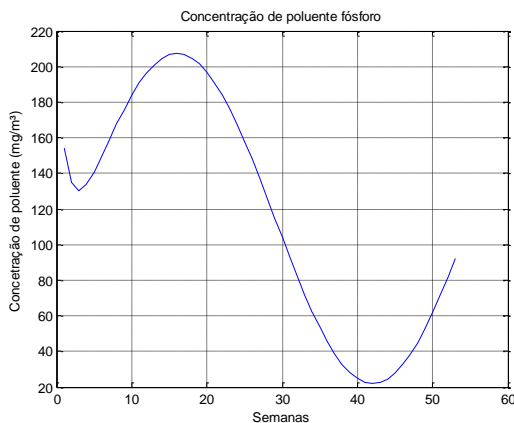
(a) Degradação de 0%.



(b) Degradação de 1%.



(c) Degradação de 5%.



(d) Degradação de 10%.

Figura 24 - Simulação para quatro valores de degradação e aporte variável.

Desta forma, têm-se os quatro cenários, cada um com um potencial de degradação. Neste ensaio, verifica-se um comportamento oscilatório da concentração do poluente, devido ao modelamento do aporte através da função seno. Tal comportamento apresenta períodos do ano com maior concentração de fósforo e períodos onde este valor diminui.

No cenário (a), Figura 26, observa-se que a máxima concentração de fósforo ocorre na 17ª semana, atingindo  $260 \text{ mg m}^{-3}$  enquanto que a concentração mínima de  $48 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 42.

Já no cenário (b) observa-se que a concentração máxima de  $250 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 15ª e a concentração mínima  $47 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na 43ª semana. Em (c) a quantidade máxima foi de  $230 \text{ mg m}^{-3}$  na semana 17 e a concentração mínima foi de  $45 \text{ mg m}^{-3}$  na semana 42ª. Em (d) a máxima concentração chegou a  $213 \text{ mg m}^{-3}$  na 15ª semana e a concentração mínima foi de  $21 \text{ mg m}^{-3}$  na 41ª semana.

A concentração máxima de poluente sofreu pouca redução, 20,5%, considerando a diferença entre os potenciais de degradação de 0% e 10% onde a concentração máxima foi de  $260 \text{ mg m}^{-3}$  e de  $213 \text{ mg m}^{-3}$  respectivamente. Já a concentração mínima foi reduzida em 21,1% entre os potenciais de degradação 0% e 10% onde a concentração mínima foi de  $90 \text{ mg m}^{-3}$  e de  $71 \text{ mg m}^{-3}$  respectivamente, redução essa também considerada pequena. Vale mencionar que a máxima e a mínima concentração do poluente se deram, aproximadamente, nas semanas 42ª e 15ª pela função de aporte considerada, baseada na função seno.

## **7.2 Cenário com subdivisão do reservatório em 5 compartimentos**

Realizados os testes iniciais considerando-se o reservatório como um único compartimento, as simulações seguiram-se, mas tendo-se a subdivisão da represa em 5 compartimentos, cada uma com seus fluxo e volume aproximando a realidade local. A ideia com estas simulações era a de aproximar, de maneira mais fiel à realidade local, a batimetria local que influencia o cálculo do volume e do fluxo.



### 7.2.1 Primeiro ensaio

Da mesma forma que na seção anterior, adotou-se o primeiro ensaio considerando-se aporte nulo e degradação igual a 0%, 1%, 5% e 10% respectivamente, Figuras 25 (a), (b), (c) e (d).

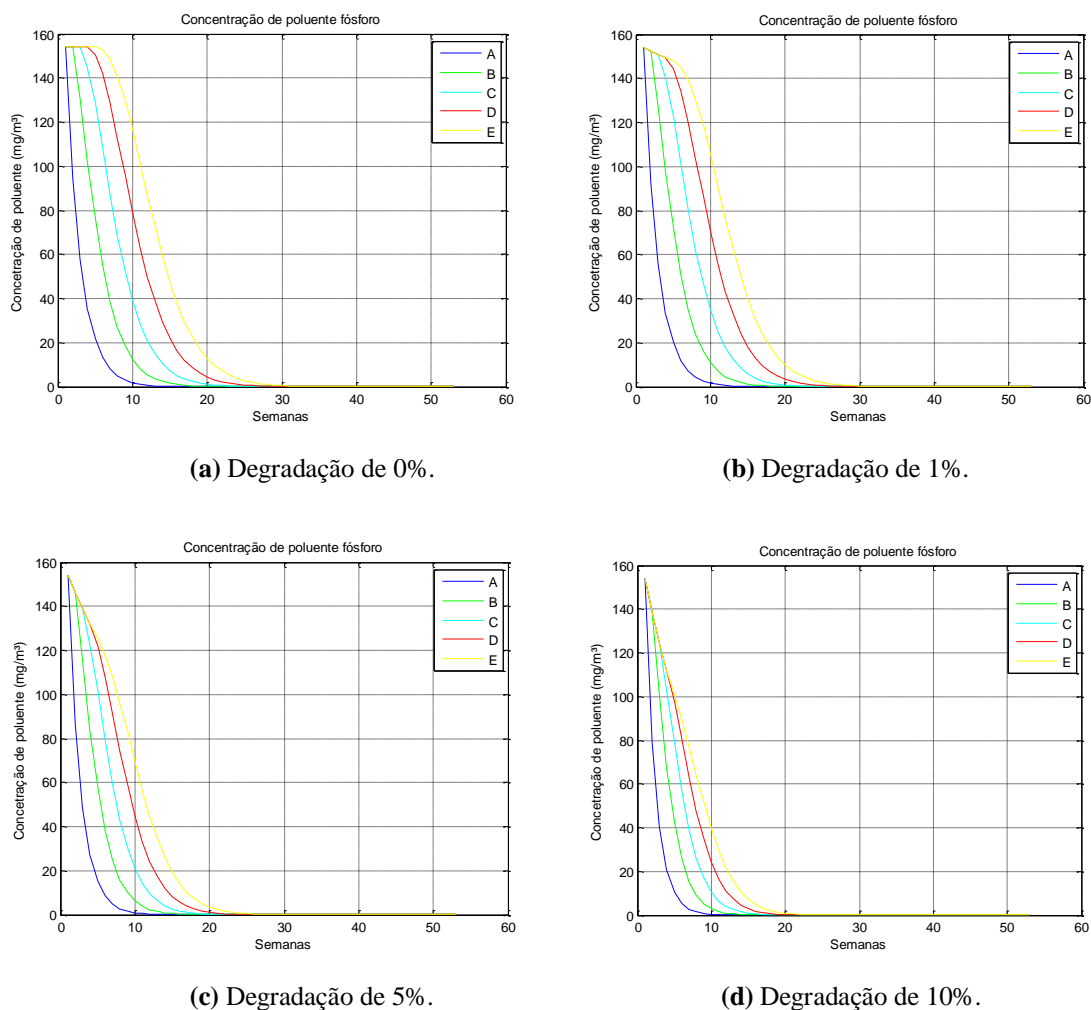


Figura 25 - Simulação para quatro valores de degradação, aporte nulo e fixo.

Verifica-se aqui que o potencial de degradação age sutilmente nos cenários que consideram um sistema sem aporte, o que corrobora para que a concentração decaia ao longo do ano, atingindo rapidamente o valor de concentração nula.

No cenário (a), Figura 26, observa-se que, para o compartimento A, são necessárias 12 semanas para que o poluente seja reduzido de  $154 \text{ mg m}^{-3}$  para zero, para o compartimento B são

necessárias 18 semanas, para o compartimento C, 21 semanas, para o compartimento D, 27 semanas e para o compartimento E, 28 semanas, aproximadamente.

Para que a concentração de fósforo se reduzisse a uma concentração igual ou inferior a  $100 \text{ mg m}^{-3}$  conforme permitido pelos valores padronizados, foram necessárias 2, 4, 6, 9 e 11 semanas nos compartimentos A, B, C, D e E respectivamente.

Ao realizar a simulação com 1% e 5% de degradação há uma pequena redução no tempo necessário para que o poluente fosse reduzido de  $154 \text{ mg m}^{-3}$  para zero.

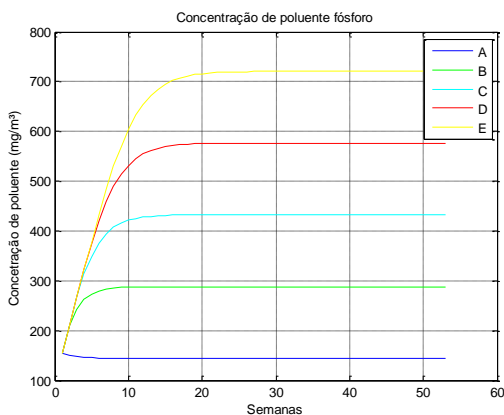
No cenário (d) observa-se que são necessárias 10 semanas para a concentração do poluente no compartimento A seja reduzida de  $154 \text{ mg m}^{-3}$  para zero, no compartimento B são necessárias 13 semanas, no compartimento C, 15 semanas, no compartimento D, 19 semanas e no compartimento E, 20 semanas.

Conforme houve um aumento no potencial de degradação o número de semanas foi reduzindo-se para que a concentração inicial atingisse a concentração de  $100 \text{ mg m}^{-3}$  e a concentração zero.

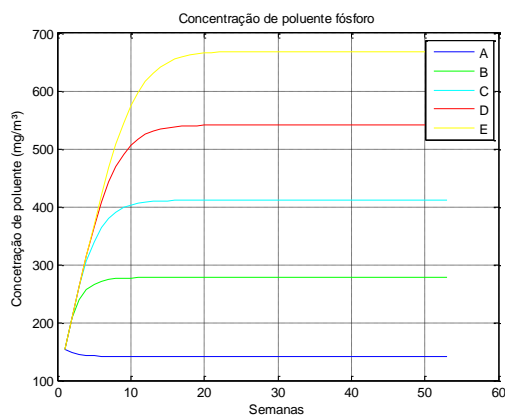
O compartimento E é o que demora mais para que ocorra a redução, pois recebe fluxo dos demais compartimentos.

### **7.2.2 Segundo ensaio**

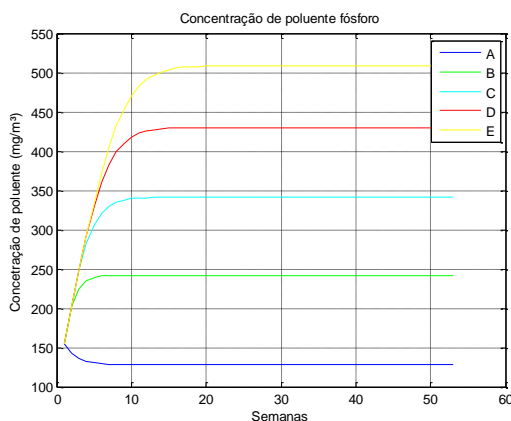
Para o segundo ensaio, considerou-se um aporte fixo em todos os compartimentos e degradação de 0%, 1%, 5% e 10% respectivamente, Figura 26 (a), (b), (c) e (d).



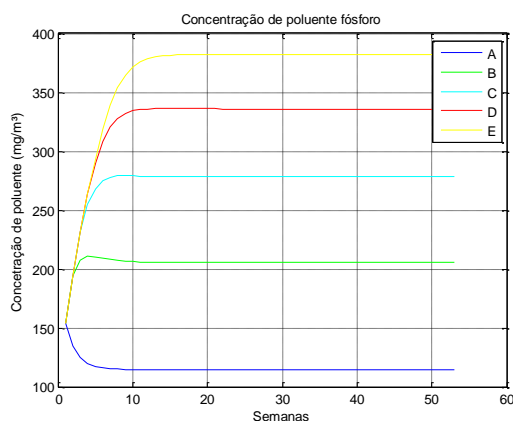
(a) Degradao de 0%.



(b) Degradao de 1%.



(c) Degradao de 5%.



(d) Degradao de 10%.

Figura 26 - Simulao para quatro valores de degradao e aporte fixo.

Neste ensaio observa-se que todos os cenrios, exceto no primeiro compartimento (o compartimento A) a concentrao de poluente aumenta, assumindo valores relativamente altos quando comparados aos limites de  $100 \text{ mg m}^{-3}$ , e mantm um sistema estabilizado ao longo do tempo.

Observe que no cenrio (a) onde no contm degradao, o compartimento A necessita de 5 semanas para que sua concentrao fique constante a  $140 \text{ mg m}^{-3}$ , j o compartimento B necessita de 6 semanas para que sua concentrao seja estabilizada a  $290 \text{ mg m}^{-3}$ , o compartimento C, 14 semanas para que sua concentrao estabilize em  $420 \text{ mg m}^{-3}$ , o compartimento D, 16 semanas para que a concentrao mantenha-se constante a  $580 \text{ mg m}^{-3}$  e o compartimento E necessita de 20 semanas para que sua concentrao fique constante a  $720 \text{ mg m}^{-3}$ .

Nenhum dos compartimentos apresenta concentração igual ou inferior a  $100 \text{ mg m}^{-3}$ . Entretanto, aplicando-se degradação de 1% e 5% já se observa a redução de semanas para que a concentração de poluente seja estabilizada.

No cenário (d) têm-se os seguintes resultados: o compartimento A necessita de 8 semanas para que sua concentração fique constante a  $115 \text{ mg m}^{-3}$ , o compartimento B necessita de 10 semanas para que sua concentração seja estabilizada a  $205 \text{ mg m}^{-3}$ , o compartimento C, 7 semanas para que sua concentração estabilize em  $280 \text{ mg m}^{-3}$ , o compartimento D, 11 semanas para que sua concentração fique constante a  $335 \text{ mg m}^{-3}$  e o compartimento E necessita de 13 semanas para que sua concentração fique constante a  $385 \text{ mg m}^{-3}$ .

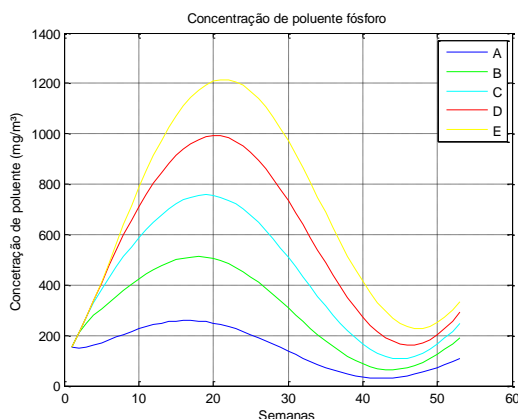
Neste cenário a situação se repete: nenhum dos compartimentos apresenta concentração igual ou inferior a  $100 \text{ mg m}^{-3}$ . Elevando o potencial de degradação de 0% para 10% houve uma redução no número de semanas onde a concentração do poluente foi reduzida.

Comparando-se a concentração constante nos cenários (a) e (d) entre os compartimentos A, B, C, D e E houve uma redução porcentual de 17,8%, 29,3%, 33,3%, 42,2% e 46,5% respectivamente.

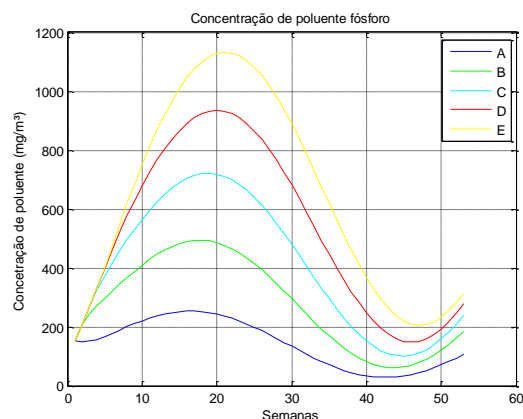
A maior redução ocorreu nos últimos compartimentos devido o efeito ser cumulativo e a estes serem os maiores compartimentos.

### **7.2.3 Terceiro ensaio**

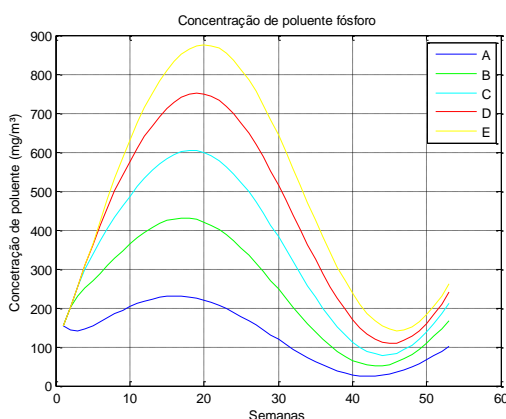
Tendo-se o aporte variando e os demais parâmetros mantidos, para cenários com degradação de 0%, 1%, 5% e 10% respectivamente, tem-se as Figuras 27 (a), (b), (c) e (d).



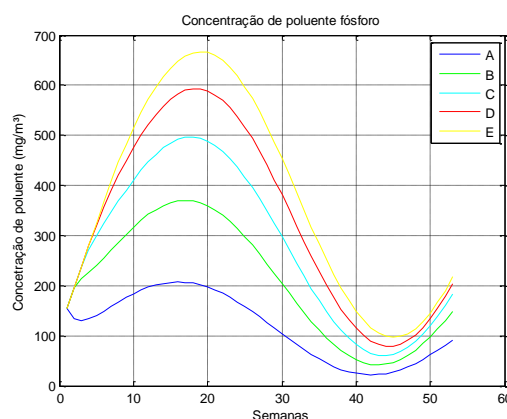
(a) Degradação de 0%.



(b) Degradação de 1%.



(c) Degradação de 5%.



(d) Degradação de 10%.

Figura 27 - Simulação para quatro valores de degradação e aporte variável.

Aqui, novamente, tem-se a concentração do poluente variando ao longo do ano, que apresenta períodos com altas concentrações de fósforo e períodos com concentrações menores.

No cenário (a) (Figura 28) observa-se no compartimento A que a máxima concentração de fósforo ocorreu na semana 16 atingindo  $260 \text{ mg m}^{-3}$  enquanto que a concentração mínima de  $40 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 42. No compartimento B a máxima concentração de fósforo ocorreu na semana 18 atingindo  $520 \text{ mg m}^{-3}$  enquanto que a concentração mínima de  $80 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 44. No compartimento C a máxima concentração ocorreu na semana 19 atingindo  $760 \text{ mg m}^{-3}$  e a concentração mínima de  $100 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 45. Já no compartimento D a máxima concentração ocorreu na semana 20 atingindo  $1.000 \text{ mg m}^{-3}$  e a concentração mínima de  $160 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 46. No compartimento E a máxima

concentração do poluente ocorreu na semana 22 atingindo  $1.020 \text{ mg m}^{-3}$  enquanto que a concentração mínima de  $220 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 48.

Com degradação de 0% apenas o compartimento A e o compartimento B alcançaram concentração do poluente igual a  $100 \text{ mg m}^{-3}$  durante as semanas 40 a 50.

Nas simulações com 1% e 5% de degradação houve reduções na concentração máxima e mínima devido ao aumento do potencial de degradação.

Com 10% de degradação observa-se no compartimento A que a máxima concentração ocorreu na semana 16 atingindo  $210 \text{ mg m}^{-3}$  enquanto que a concentração mínima de  $20 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 42. No compartimento B a concentração máxima ocorreu na semana 17 chegando a  $370 \text{ mg m}^{-3}$  e a mínima concentração de  $40 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 43. No compartimento C a máxima ocorreu na semana 18 atingindo  $500 \text{ mg m}^{-3}$  e a concentração mínima de  $70 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 44. Já no compartimento D a máxima concentração do poluente ocorreu na semana 19 atingindo  $590 \text{ mg m}^{-3}$  e a concentração mínima de  $80 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 44. No compartimento E a máxima concentração de fósforo ocorreu na semana 19 atingindo  $660 \text{ mg m}^{-3}$  enquanto que a concentração mínima de  $100 \text{ mg m}^{-3}$  foi atingida na semana 45.

No ensaio (d) a concentração do poluente atinge a concentração igual ou menor a  $100 \text{ mg m}^{-3}$  durante as semanas 30 a 52.

Com concentração inicial de  $154 \text{ mg m}^{-3}$ , com os aportes e com as devidas taxas de degradação, a quantidade de fósforo na grande maioria dos cenários obtidos apresenta-se com valores altos quando comparados a quantidade máxima especificado pelos órgãos governamentais.

A maioria dos cenários apresenta-se com valores altos quando comparados a quantidade máxima especificado pelos órgãos governamentais.

### 7.3 Discussões gerais

Através dos ensaios realizados e dos cenários gerados, verifica-se de modo qualitativo e aproximado que o modelo fornece dados que podem subsidiar discussões e tomadas de decisão de prevenção e controle favorecendo estudos sobre o tempo de reação entre outras variáveis.

Algumas discussões podem, inclusive, levar a análises mais precisas e subsidiar a geração de cenários que auxiliem o estudo de estratégias e de situações e acidentes ambientais que podem atingir grandes proporções.

Embora não se tenha as medições específicas mês a mês, nem mesmo valores bastante exatos, sabe-se que existem épocas do ano em que o ingresso de fósforo é maior devido a aplicação de fertilizantes nas plantações do entorno do ribeirão do Pinhal e de épocas com maior índice pluviométrico.

Os tipos de solo mais comuns no município de Limeira são Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo e Neossolo Litólico que são deficientes em fósforo, portanto comumente são realizadas adubações nas plantações, buscando suprir os problemas acarretados dessa deficiência uma vez que a fosfatagem é indicada para solos classificados como classe 4 onde os teores de argila são  $\leq 20\%$ , (ver Tabela 8).

Devido ao fato de o município possuir terrenos com certa declividade, pode-se afirmar que a inclinação favorece o escoamento superficial do poluente nos períodos chuvosos.

Observando os dados da CETESB em relação ao índice IQA, verifica-se que as águas do ribeirão do Pinhal têm apresentado boa qualidade nos últimos três anos; entretanto não se pode concluir o mesmo ao se avaliar os demais índices: IPA e IET.

O IAP apresentou um resultado classificado como ruim tanto em 2009 quanto em 2011, embora tenha melhorado em 2010. Com relação ao IET, verifica-se que este índice que apresentava-se ruim já em 2008, piorou em 2009 e tornou a piorar mais ainda em 2010, embora tenha apresentado uma melhora em 2011, sendo classificado como oligotrófico.

O fato de não haver descartes de efluentes domésticos e industriais no ribeirão do Pinhal corrobora para o bom resultado do IQA, entretanto, ao analisar o IAP, que é composto pelo IQA e por variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas e que alteram a qualidade organoléptica, a caracterização dessa água não apresenta um resultado tão bom se comparado ao IQA. Uma possível razão para tal fenômeno pode ser o fato das variáveis que o compõe apresentarem resultados fora do especificado ou muito próximo ao limite.

Confrontando os dados das Tabelas 3, 11 e 13, com relação ao índice IET, que contém apenas o fósforo e a clorofila *a* compondo suas variáveis, observa-se a relação entre a concentração de fósforo e o estado trófico do corpo d'água, onde quanto maior a concentração do poluente, pior o estado trófico do corpo aquático.

Verifica-se que em 2011 houve uma alteração na forma de classificação do índice, pois foram realizadas apenas quatro análises e, em janeiro, a concentração de fósforo que era de  $200 \text{ mg m}^{-3}$  (Tabela 13), o que segundo a Tabela 11 receberia a classificação de mesotrófico, foi classificado como ultraoligotrófico, na Tabela 3 – IET.

Em maio, quando a concentração de fósforo era de  $100 \text{ mg m}^{-3}$ , sua classificação deveria ser mesotrófico, mas é tida como ultraoligotrófico. Em julho, obteve-se  $29 \text{ mg m}^{-3}$  para o fósforo, o que o deveria caracterizar o corpo d'água como oligotrófico, mas consta nos dados o estado mesotrófico e, finalmente em novembro, a concentração do poluente foi de  $13 \text{ mg m}^{-3}$  o que deveria ser apresentado como ultraoligotrófico, consta como oligotrófico.

Uma possível razão é a influência da clorofila *a*, componente considerada nas análises somente a partir de 2011. Entretanto não se pode afirmar de fato, pois não foi entrado em contato com a agência para esclarecimentos.

De modo geral, buscou-se fazer uma caracterização da região, de modo a se compreender o parâmetro fósforo alterado e razão que se encontrou para isso foi a referida correção das deficiências do solo, tendo-se em vista as culturas agrícolas locais. Neste sentido, o principal papel das simulações, que tiveram os potenciais de degradação e o aporte de poluente hipotéticos, mas os valores de fluxo, volume e concentração inicial aproximados, foi o de contribuir com ferramentas matemáticas computacionais para a compreensão geral do sistema, mesmo que de forma qualitativa. A ideia é que diante de parâmetros mais fiéis, possam, de fato, trazer mais contribuições para o estudo da qualidade das águas deste manancial.

Desta forma, o papel da modelagem aqui possibilita certa reflexão sobre o cenário que se estabelece na represa. Vale ressaltar que a dinâmica do fósforo em rios e riachos pode ser diferente daquela que ocorre em lagos e reservatórios. Uma característica importante do componente, nos reservatórios, é que ele normalmente se deposita nos sedimentos do recurso aquático.



## 8 Conclusões

Durante a pesquisa procura-se, partir de um problema real que ocorre atualmente na bacia do ribeirão do Pinhal e no reservatório do Tatu, trazer à tona questões relevantes de poluição em corpos aquáticos.

Reconhece-se que há riscos para os corpos d'água que recebem materiais que afetam a qualidade de suas águas em alguns casos causando danos irreversíveis e impossibilitando o uso desta água para abastecimento público.

Assim, este trabalho apresenta, através de modelagem matemática e de uma ferramenta computacional, cenários que podem ser alterados de acordo com os dados obtidos podendo constituir um instrumento relevante na definição de políticas públicas ambientais.

Através das simulações apresentadas, observa-se que os instrumentos de modelagem matemática, aqui utilizados, embora simples, favorecem a representação de um dos fenômenos que ocorre comumente nos corpos d'água que é o comportamento evolutivo de resíduos nos corpos aquáticos, pois através dos cenários observa-se a evolução da concentração de poluente conforme o passar das semanas e de acordo com o potencial de degradação.

Podemos concluir, contudo, que para o ribeirão do Pinhal, um rio de classe 2, há valores da concentração do poluente fósforo, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, que estão fora do especificado. Acredita-se que um dos principais fatores que levam a tais circunstâncias é a ocupação agrícola da bacia do ribeirão do Pinhal, onde se supõe que por escoamento superficial em épocas chuvosas, o fósforo pode ser carregado para o corpo hídrico.

Através dos cenários gerados observa-se que o potencial de degradação natural dos corpos d'água é alto, mas não dá conta para que os mananciais consigam degradar toda a matéria existente e isto não é diferente para o ribeirão do Pinhal. Ou seja, se de fato o potencial de degradação for menor que o simulado aqui, a situação pode ser mais comprometedora ainda.

O que se firma é a importância do monitoramento da qualidade das águas e o monitoramento do ingresso de poluentes que não somente o fósforo.

Que os poluentes, de modo geral, sejam monitorados e avaliados por agências e órgãos governamentais, competentes, tendo-se em vista mananciais de abastecimento público. As águas do ribeirão do Pinhal são de extrema relevância para o município de Limeira e constituem uma

alternativa de abastecimento público local. Além disso, tem-se a biota local que vai se modificando ao longo do tempo e da degradação dos corpos aquáticos, assim é preciso preservar os ecossistemas e a vida aquática em todas as instâncias.

Portanto, políticas ambientais devem ser adotadas para a preservação da qualidade das águas, para a preservação da vida aquática e para preservação da saúde ambiental da região.

## 9 Sugestões de trabalhos futuros

A fim de avançar nas discussões e, de certa forma, complementar este estudo sugere-se que os seguintes tópicos sejam abordados em trabalhos futuros:

- determinação da quantidade de fósforo aplicado nas plantações de citros;
- determinação da quantidade de fósforo presente no solo ao longo do reservatório do Tatu;
- determinação do modo com que o fósforo atinge o corpo d'água: escoamento superficial, lixiviação ou esgoto;
- medição do tempo necessário para que o fósforo atinja o corpo d'água através da lixiviação e do escoamento superficial;
- determinação dos quantitativa dos parâmetros: intensidade, duração e intervalo das chuvas, vazão, tipo de solo, índice de cobertura vegetal, condições de oxi-redução, atividade de organismos bentônicos entre outros;
- implantação de programas de educação ambiental voltado aos citricultores.

Acredita-se que esforços no sentido de se ter parâmetros mais fiéis à realidade local podem contribuir mais eficazmente com o tema da qualidade das águas da bacia do Pinhal.

## Referências Bibliográficas

AGÊNCIA AMBIENTAL DE LIMEIRA. **Lançamentos industriais na bacia PCJ**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <camilamontovani@yahoo.com.br> em 15 mar. 2012.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. Relatório de gestão e situação das Bacias PCJ 2011. 2011. 82 f.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. 2011. Indicadores de qualidade – Índice de Estado Trófico. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceET.aspx>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. 2012. Informações de Geração. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/energiaassegurada.asp>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

ALEIXO, A. S.; BATISTUCCI, T. N. Diagnóstico local da bacia do Ribeirão do Pinhal: a educação ambiental dando a oportunidade para a natureza se restabelecer nas margens do Ribeirão. 2006. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Superior de Educação Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2006.

ALVES, L. F. B. Modelagens matemáticas para simulações computacionais de impacto ambiental no rio Balsas. 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, 2009. Disponível em: <<http://cutter.unicamp.br/document/?code=000439623>>. Acesso em: 28 nov. 2011.

ALVES FILHO, M. Matemática verde. **Jornal da UNICAMP**. Campinas. n. 520. p. 02. Mar. 2012. Disponível em: <[http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/ju/marco2012/ju520\\_pag02.php](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/marco2012/ju520_pag02.php)>. Acesso em: 29 mai. 2012.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; MORAES NETO, J. M.; SOUTO, J. S.; REINALDO, L. R. L. R. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. **Qualit@s Revista Eletrônica**, Paraíba, v. 8, n. 1, p. 1-18, 2009. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/issue/view/50>>. Acesso em: 15 jun. 2012.

AZEVEDO, R. J. G. Geoprocessamento na análise da ocupação e uso da bacia em áreas de expansão urbana: estudo de caso da sub-bacia do Ribeirão dos Pires, município de Limeira (SP). 2008. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000439330>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

BASSANEZI, R. C. Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia. São Paulo, Contexto, 2002.

BASSO, C. J. Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos. 2003. 144 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/teses/C%F3pia%20em%20PDFBasso.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2012.

BEDUSCHI, C. E. Caracterização isotópica dos componentes do ciclo hidrológico em quatro sub-bacias pertencentes à bacia do rio Piracicaba (SP). 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-14082008-103438/pt-br.php>>. Acesso em: 28 dez. 2011.

BERNARDES, M. Poluição em corpos aquáticos de baixa circulação: modelagem e simulação numérica. 1998. 69 f. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000126610>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

BONGANHA, C. A.; GUIGUER JR, N.; PEREIRA, S. Y.; OLIVEIRA, L. C.; RIBEIRO, M. L. Conceitos e fundamentos da modelagem matemática para gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 30, p. 116-120, 2007. Disponível em: <[http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/AS\\_Revista-Analytica.pdf](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/AS_Revista-Analytica.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2011.

BORGES, J. T. Avaliação do estado trófico e sanitário e a adsorção de fósforo no sedimento da Lagoa do Taquaral – Campinas - SP. 1998. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000184206&fd=y>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

BORTOLON, L. Fósforo em sistema plantio direto afetado pelo histórico de uso do solo e os efeitos agrônomo e ambiental. 2009. 104 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/23941/000743868.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 mai. 2012.

BRANDÃO, D. Risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do Ribeirão Pinhal – Limeira (SP): uma proposta metodológica. 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000235348>>. Acesso em: 29 ago. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2011.

CARNIATO, N. K. S. M. Comportamento evolutivo de uma pluma superficial de poluente na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000771386&fd=y>>. Acesso em: 23 dez. 2012.

CAROLO, F. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudo das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 2007. 204 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável – Universidade de Brasília, 2007. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao\\_Fabiana\\_Carolo.pdf](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Fabiana_Carolo.pdf)>. Acesso em: 03 abr. 2012.

CLEARY, R.W. **Qualidade das águas subterrâneas**. In: PORTO *et al.* Hidrologia Ambiental. ABRH e EDUSP. São Paulo. p. 211-293. 1991.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (a). Plano das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí para o quadriênio 2008 – 2011. Relatório Final. p. 662. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/PB/PB-2008-2011.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2012.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (b). Plano das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010 – 2020, com proposta de atualização do enquadramento dos corpos d'água e de programa para efetivação do enquadramento dos corpos d'água até o ano de 2035. Relatório Final. p. 815. Disponível em: <[http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/PB/PCJ\\_PB-2010-2020\\_RelatorioFinal.pdf](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/PB/PCJ_PB-2010-2020_RelatorioFinal.pdf)>. Acesso em: 09 mar. 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (a). Dados das variáveis de qualidade das águas (doce, salobra e salina) e dos sedimentos 2010. 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (b). Dados das variáveis de qualidade das águas (doce, salobra e salina) e dos sedimentos 2011. 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 10 mai. 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (c). Índices de qualidade das águas 2011. 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (d). Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo 2008. p. 531. 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (e). Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo 2009. p. 312. 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (f). Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo 2010. p. 300. 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (g). Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo 2011. p. 342. 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 05 abr. 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (h). Resultados de qualidade de água por UGRHI 2009. 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB (i). Apêndice D - resultados dos parâmetros e indicadores de qualidade das águas 2008. 2008. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

CONSÓCIO PCJ. Localização da bacia PCJ Disponível em: <<http://www.agua.org.br/conteudos/41/localizacao.aspx>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

DINIZ, G. L.; FERNANDES, J. F. R.; MEYER, J. F. C. A. Um modelo para a dispersão de poluentes em áreas alagáveis. **Biomatemática**, Nova Friburgo, v. 12, p. 105-130. 2002. Disponível em: <<http://www.ime.unicamp.br/~biomat/revistas.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2012.

DINIZ, G. L.; ALEGRIA, S. A. F. Estudo da poluição por esgoto num trecho urbano de rio. **Biomatemática**, p. 73-86. 2007. Disponível em: <[http://www.ime.unicamp.br/~biomat/bio17\\_art8.pdf](http://www.ime.unicamp.br/~biomat/bio17_art8.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2011.

EDELSTEIN - KESHET, L. Mathematical models in biology. 1ª ed. México. 1988. p.03-29.

ENGENHARIA E PAVIMENTAÇÃO LTDA. – ENGEPI. Disponível em: <<http://www.engep.com.br/?op=grupo>>. Acesso em: 10 ABR. 2012.

FARIA, C. M. B; PEREIRA, J. R. Movimento de fósforo no solo e seu modo de aplicação no tomateiro rasteiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 12, p. 1363-1370, 1993. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4008/1299>>. Acesso em: 25 jul. 2012.

FÉLIX, L. Estudo mapeia trajeto de poluentes em rios. **RAC**, Campinas. Mai. 2012. Disponível em: <<http://www.rac.com.br/projetos-rac/cenario-xxi/127664/2012/05/04/estudo-mapeia-trajeto-de-poluente-em-rios.html>>. Acesso em: 04 mai. 2012.

FERREIRA, M. L. A modelagem matemática como ferramenta no ensino e aprendizagem dos conceitos matemáticos destinados à formação técnica/tecnológica. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.centropaulasouza.sp.gov.br/Posgraduacao/Trabalhos/Dissertacoes/tecnologias-ambientais/2009/marcelo-lucio-ferreira.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J. C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 399-409. Out./dez. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n4/a06v12n4.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

FOZ DO BRASIL. Disponível em: <<http://www.fozdo brasil.com.br/web/limeira/>>. Acesso em: 15 nov. 2011.



FOZ DO BRASIL (a). **Contato – Foz do Brasil – Limeira.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <camilamontovani@yahoo.com.br> em 30 mar. 2012.

FOZ DO BRASIL (b). **Contato – Foz do Brasil – Limeira.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <camilamontovani@yahoo.com.br> em 10 out. 2012.

GALLO, Z. A proteção das águas, um compromisso do presente com o futuro: o caso da bacia do Rio Piracicaba. 1995. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000090237>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

GALLO, Z. A defesa da qualidade das águas da bacia do rio Piracicaba: o papel da CETESB e de todos nós. 2000. 243 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000212848&opt=1>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

INFORZATO, N. F. Dispersão de poluentes num sistema ar-água: modelagem matemática, aproximação numérica e simulação computacional. 2008. 109 f. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Gráfica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <<http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000441185>>. Acesso em: 25 nov. 2011

IRITANI, M. A. Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea. 1998. 200 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Acesso em: 10 mai. 2011.

JACOMINO, T. M. Z. Equações de diferenças e modelos compartimentais no estudo, na modelagem e em simulações: variação temporal da concentração de poluentes na Lagoa de Cima em Campos de Goytacazes – RJ. 2006. 30 f. Relatório de pesquisa (Bolsa de Iniciação Científica) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2006.

JORDÃO, C. P.; RIBEIRO, P. R. S.; MATOS, A. T.; BASTOS, R. K. X.; FERNANDES, R. B. A.; FONTES, R. L. F. Environmental assessment of water-courses of the Turvo Limpo River basin at the Minas Gerais state, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 127 (1-3), p. 315-326. Out. 2006. doi:10.1007/s10661-006-9282-x. Disponível em: <<http://search.proquest.com/docview/375482390/fulltextPDF/1330CF788336D25C80F/8?accountid=8113>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

LARENTIS, D. G. Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: sistema Taquari-Antas - RS. 2004. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3900>>. Acesso em: 28 nov. 2011.

LEE, T. R. Urban water management for better urban life in Latin America. **Urban Water**, Londres, v. 2, n. 1, p. 71-78. Fev. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462075800000418>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

LIMA, H. **Reservatório do Tatu** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <camilamontovani@yahoo.com.br> em 08 mai. 2012.

LIMEIRA. Lei Complementar nº 222, de 15 de dezembro de 1999. Dispõe sobre a Política Municipal de Recursos Hídricos, diretrizes e normas para a preservação, proteção e recuperação da ZPM, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.limeira.sp.gov.br/legislacoes/files/planejamento/222\\_ZPM/LC222atualizada\\_lei%20257-01.pdf](http://www.limeira.sp.gov.br/legislacoes/files/planejamento/222_ZPM/LC222atualizada_lei%20257-01.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2012.

MANSOR, M. T. C. Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira - SP. 2005. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.lapa.ufscar.br/bdgaam/agua/Polui%E7%E3o/Mansor.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2011.

MANSOR, M. T. C.; TEIXEIRA FILHO, J.; ROSTON, D. M. Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do rio Jaguari, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 715-723. 2006. Disponível em: <[www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a26.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a26.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2011.

MAROTTA, H.; SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 67-79. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v11n1/05.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

MARRARA, A.C. T. Avaliação físico-química e ecotoxicológica do Ribeirão Tatu no município de Limeira – SP. 2008. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000443018>>. Acesso em: 25 nov. 2011.

MEYER, J. F. C. A. Matematização da biologia não é novidade da ciência moderna. **Com ciência – Bioinformática**, 2003. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/bioinformatica/bio02.shtml>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

MEYER, J. F. C. A.; CALDEIRA, A. D.; MALHEIROS, A. P. S. Modelagem em Educação Matemática. Belo Horizonte: Autêntica Editora, Coleção de Tendências em Educação Matemática, 2011.

MONTOVANI, C. P.; POLETTI, E. C. C. (a). O impacto ambiental na bacia do Ribeirão do Pinhal – município de Limeira –SP: caracterização, modelagem matemática e discussões. **Revista Biomatemática**, Campinas, v. 22, p. 105-116. 2012. Disponível em: <[http://www.ime.unicamp.br/~biomat/bio22\\_art8.pdf](http://www.ime.unicamp.br/~biomat/bio22_art8.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2012.

MONTOVANI, C. P.; POLETTI, E. C. C. (b). Impacto ambiental em recursos hídricos via modelagem matemática. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 34, 2012, Águas de Lindóia – SP. **Anais eletrônicos...** Águas de Lindóia, 2012, p. 1-1408. Disponível em: <[http://www.sbmac.org.br/eventos/cnmac/xxxiv\\_cnmac/pdf/546.pdf](http://www.sbmac.org.br/eventos/cnmac/xxxiv_cnmac/pdf/546.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2012.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**, Campinas, v. 36, n. 03, p. 370-374. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v36n3/10502.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2012.

MORTATTI, J.; BORTOLETTO JR, M. J.; MILDE, L. C. E.; PROBST, J.L. Hidrologia dos rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 23, p. 55-67. 2004. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct23art05.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

NASCIMENTO, N. O. e HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 36-48. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n1/v10n01a04.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2012.

OLIVEIRA, R. F. de. O comportamento evolutivo de uma mancha de óleo na Baía de Ilha Grande, RJ: modelagem, análise numérica e simulações. 101 f. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000298320>>. Acesso em: 25 nov. 2011.

OLIVEIRA, V. M.; SILVA, M. S. G.; MEDEIROS, C. B.; JESUS, V. E.; PIO, E. G.M.; PILLON, J. F.; LIMA, R. P.; BOMBO, A. L.; GODOY, B. L.; DETONI, A. D.; CONTER, P.; BARONI JR, M.; FRANCISCO, A. R.; BADDO, B.; BROTA, G. A.; PAIXÃO FILHO, J. L.; OLIVEIRA NETO, A. L.; ALMEIDA, G.; ROSSINI, A. J.; PELEGRINI, R. T. Avaliações físicas, químicas e biológicas da microbacia do córrego Modeneis em Limeira – SP. **Engenharia Ambiental**. v. 5, n. 1, p. 86-96, jan./abr. 2008. Disponível em: <<http://189.20.243.4/ojs/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=255&article=114&mode=pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

PELEGRINI, J. B. R. Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino – Agudo – RS. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Disponível em:

<<http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/DISSERTA%C7%C3O%20JO%C3O%20impressa.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2012.

PEREIRA, N. M.; PEREIRA, S. Y.; CAVALGANTI, R. N.; GENOVEZ, A. M.; PAULA, G... Disponibilidade hídrica da bacia do rio Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. **Holos Environment**, v. 4, n. 2, p. 98. 2004. Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos/article/view/352/318>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

POLETTI, E. C. C. Dispersão de poluente em sistema de reservatório: modelagem matemática e simulação computacional utilizando-se aproximação numérica e lógica Fuzzy. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação Científica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LIMEIRA. Disponível em: <<http://www.limeira.sp.gov.br/municipio/>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

PALMIERI, V.; CARVALHO, R. J. Qual2e model for the Corumbataí River. **Ecological Modelling**, v. 198, p. 269-275. Jul. 2010. Disponível em: <[http://pdn.sciencedirect.com/science?\\_ob=MiamiImageURL&\\_cid=271743&\\_user=972058&\\_pii=S0304380006001785&\\_check=y&\\_origin=search&\\_zone=rslt\\_list\\_item&\\_coverDate=2006-09-15&wchp=dGLzVlt-zSkzV&md5=257a065e6984d14bbfbfe37c96a5738d/1-s2.0-S0304380006001785-main.pdf](http://pdn.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271743&_user=972058&_pii=S0304380006001785&_check=y&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=2006-09-15&wchp=dGLzVlt-zSkzV&md5=257a065e6984d14bbfbfe37c96a5738d/1-s2.0-S0304380006001785-main.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2012.

REGATTIERI, S. M. C. B. Geoquímica de águas e sedimentos da bacia do Ribeirão Tatu, Limeira-SP. 2007. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <<http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000431513>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

RODRIGUES, A. S. de L.; MALAFAIA, G. Degradação dos recursos hídricos e saúde humana: uma atualização. **Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal**, v. 10, n. 1, p. 13-23. 2009. Disponível em: <<http://rdigital.univille.rct-sc.br/index.php/RSA/article/viewFile/179/184>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

RUEDA, F.; MORENO-OSTOS, E.; ARMENGOL, J. The residence time of river water in reservoirs. **Ecological Modelling**, v. 191, p. 260-274. 2006. Disponível em: <[http://pdn.sciencedirect.com/science?\\_ob=MiamiImageURL&\\_cid=271743&\\_user=972058&\\_pii=S0304380005002760&\\_check=y&\\_origin=search&\\_zone=rslt\\_list\\_item&\\_coverDate=2006-01-31&wchp=dGLbVlk-zSkzS&md5=b82ec6765338404f4b1a1b02eac5ec49/1-s2.0-S0304380005002760-main.pdf](http://pdn.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271743&_user=972058&_pii=S0304380005002760&_check=y&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=2006-01-31&wchp=dGLbVlk-zSkzS&md5=b82ec6765338404f4b1a1b02eac5ec49/1-s2.0-S0304380005002760-main.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2012.

RUIZ, T. D. S. Monitoramento dos Ribeirões Tabajara e Pires no município de Limeira-SP. In: CONGRESSO INTERNO – INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16, 2008. Limeira. Disponível em: <<http://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xvicongresso/paineis/064519.pdf>> e em: <<http://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xvicongresso/cdrom/FSCOMMAND/pdfN/1114.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2012.

RYKIEL JR, E. J. Testing ecological models: the meaning of validation. **Ecological Modelling**, v. 90, p. 229-244. Ago. 1996. Disponível em: <[http://pdn.sciencedirect.com/science?\\_ob=MiamiImageURL&\\_cid=271743&\\_user=972058&\\_pii=0304380095001522&\\_check=y&\\_origin=search&\\_zone=rslt\\_list\\_item&\\_coverDate=1996-11-01&wchp=dGLzVIS-zSkWb&md5=23f874d917e430147ce515a97444b50c/1-s2.0-0304380095001522-main.pdf](http://pdn.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_cid=271743&_user=972058&_pii=0304380095001522&_check=y&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_coverDate=1996-11-01&wchp=dGLzVIS-zSkWb&md5=23f874d917e430147ce515a97444b50c/1-s2.0-0304380095001522-main.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2012.

SCIVITTARO, W. B.; SOUZA, E. L. S.; OLIVEIRA, R. P. Produção orgânica de citros no Rio Grande do Sul. 2011. Disponível em: <[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/sistema20\\_novo/cap8\\_correcao\\_do\\_solo\\_e\\_adubacao.htm](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/sistema20_novo/cap8_correcao_do_solo_e_adubacao.htm)>. Acesso em: 30 jul. 2012.

SMEA – SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE – Prefeitura Municipal de Limeira. Batimetria Represa Tatu. 2010.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – NÚCLEO REGIONAL SUL. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Comissão de química e fertilidade do solo – RS/SC. Porto Alegre. 2004. 404 p. Disponível em: <[http://www.unibave.net/arquivos/foto/file/2012-04-12\\_091237\\_Manual\\_de\\_adubacao\\_2004\\_versao\\_internet.pdf](http://www.unibave.net/arquivos/foto/file/2012-04-12_091237_Manual_de_adubacao_2004_versao_internet.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2012.

SOUZA, L. C. F. Verificação de parâmetros hídricos da bacia do rio Jaguari no município de Jaguariúna. 2005. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000361072&fd=y>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

TERRAFOTO S. A. ATIVIDADES DE AEROLEVANTAMENTOS. Plano cartográfico do Estado de São Paulo: Represa do Tatu. 1979. Escala 1:10.000.

TREFFT, A. C. Diagnóstico ambiental das ocupações irregulares por chácaras e de recreio na bacia do Ribeirão do Pinhal, Limeira - SP. 2006. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Superior de Educação Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2006.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. de M. C. Gestão da água no Brasil. 2001. Disponível em: <[http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost\\_files/gestao-da-agua\\_brasil.pdf](http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/gestao-da-agua_brasil.pdf)>. Acesso em: 09 ago. 2011.

VARGAS, M. C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, ano II, n. 5, p. 109-134. 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/n5/n5a09.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

VIOLANTE, P. Águas de Limeira - Aplicação do tubo de PEAD na cidade de Limeira. Disponível em: [http://site.sabesp.com.br/uploads/file/audiencias\\_inova%C3%A7%C3%A3o/Aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20tubo%20de%20PEAD%20na%20cidade%20de%20Limeira.pdf](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/audiencias_inova%C3%A7%C3%A3o/Aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20tubo%20de%20PEAD%20na%20cidade%20de%20Limeira.pdf). Acesso em: 28 dez. 2011.

YUE, T.-X.; JORGENSEN, S. E.; LAROCQUE, G. R. Progress in global ecological modeling. **Ecological Modelling**, v. 222, p. 2172-2177. Jul. 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380010002772>. Acesso em: 12 mar. 2012.

# Apêndice

## Apêndice A – Códigos computacionais

Códigos computacionais utilizados nas simulações obtidos através de ambiente MATLAB.

```
% Reservatório do Tatu %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc; clear all; close all;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Resultados obtidos pela CETESB do poluente fósforo em mg/m³
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 2008 - q e q médio
q1=100      %mg/m³
q2=100      %mg/m³
q3=100      %mg/m³
q4=20       %mg/m³
q5=90       %mg/m³
q6=40       %mg/m³
q_medio_2008=((q1+q2+q3+q4+q5+q6)/6)/5 %mg/m³
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 2009 - q e q médio
q1=1000     %mg/m³
q2=100      %mg/m³
q3=300      %mg/m³
q4=100      %mg/m³
q5=300      %mg/m³
q6=200      %mg/m³
q_medio_2009=((q1+q2+q3+q4+q5+q6)/6)/5 %mg/m³
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 2010 - q e q médio
q1=100      %mg/m³
q2=400      %mg/m³
q3=1000     %mg/m³
q4=700      %mg/m³
q5=2000     %mg/m³
q6=90       %mg/m³
q_medio_2010=((q1+q2+q3+q4+q5+q6)/6)/5 %mg/m³
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% 2011 - q e q médio
q1=200      %mg/m³
q2=300      %mg/m³
q3=100      %mg/m³
q4=29       %mg/m³
q5=20       %mg/m³
```

```

q6=13          %mg/m³
q_medio_2011=((q1+q2+q3+q4+q5+q6)/6)/5 %mg/m³
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Média de 2008 a 2011
n=4;
q_medio_2008_a_2011=(q_medio_2008+q_medio_2009+q_medio_2010+q_medio_2011)/n
%mg/m³
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Taxa de variação entre 2008 e 2011
delta_q=22
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Concentração inicial
c_inicial=154 %mg/m³
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Parâmetros
% A(1)=c_inicial % quantidade inicial no reservatório - mg/m³
%
% V=1005063.818 % volume do reservatório - m³
%
% F=390528 % fluxo do reservatório - m³/dia
%
A(1)=c_inicial % quantidade inicial no compartimento A
B(1)=c_inicial % quantidade inicial no compartimento B
C(1)=c_inicial % quantidade inicial no compartimento C
D(1)=c_inicial % quantidade inicial no compartimento D
E(1)=c_inicial % quantidade inicial no compartimento E

V1=78163 % volume no compartimento A - m³
V2=93810 % volume no compartimento B - m³
V3=184080 % volume no compartimento C - m³
V4=224200 % volume no compartimento D - m³
V5=424800 % volume no compartimento E - m³

F1=30371 % fluxo no compartimento A - m³/dia
F2=36451 % fluxo no compartimento B - m³/dia
F3=71526 % fluxo no compartimento C - m³/dia
F4=87115 % fluxo no compartimento D - m³/dia
F5=165060 % fluxo no compartimento E - m³/dia
%
%qx=0 % aporte médio do poluente fósforo entre 2008 e 2011 - mg/m³
%
qx=56 % aporte médio do poluente fósforo entre 2008 e 2011 - mg/m³
%
qvar=delta_q % desvio padrão encontrado entre 2008 e 2011 em cada
compartimento
%
%qvar=0 % desvio padrão encontrado entre 2008 e 2011 em cada
compartimento
%
```



```

d=0          % taxa de degradação de cada compartimento do reservatório
%
%d=0.01      % taxa de degradação de cada compartimento do reservatório
%
%d=0.05      % taxa de degradação de cada compartimento do reservatório
%
%d=0.1       % taxa de degradação de cada compartimento do reservatório%
%
ng=52        % número de semanas
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%q fixo - compartimento único
% for i=1:ng
% A(i+1)=(1-F/V-d)*A(i)+(qx);
% end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%q variável - compartimento único
% for i=1:ng
% A(i+1)=(1-F/V-d)*A(i)+(qx+qvar*sin((i-1)*pi/26));
% end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% q fixo em todos os compartimentos
% for i=1:ng
% A(i+1)=(1-F1/V1-d)*A(i)+(qx);
% B(i+1)=(1-F2/V2-d)*B(i)+(qx)+(F1/V1)*A(i);
% C(i+1)=(1-F3/V3-d)*C(i)+(qx)+(F2/V2)*B(i);
% D(i+1)=(1-F4/V4-d)*D(i)+(qx)+(F3/V3)*C(i);
% E(i+1)=(1-F5/V5-d)*E(i)+(qx)+(F4/V4)*D(i);
% end
% %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% q variável em todos os compartimentos
for i=1:ng
A(i+1)=(1-F1/V1-d)*A(i)+(qx+qvar*sin((i-1)*pi/26));
B(i+1)=(1-F2/V2-d)*B(i)+(qx+qvar*sin((i-1)*pi/26))+(F1/V1)*A(i);
C(i+1)=(1-F3/V3-d)*C(i)+(qx+qvar*sin((i-1)*pi/26))+(F2/V2)*B(i);
D(i+1)=(1-F4/V4-d)*D(i)+(qx+qvar*sin((i-1)*pi/26))+(F3/V3)*C(i);
E(i+1)=(1-F5/V5-d)*E(i)+(qx+qvar*sin((i-1)*pi/26))+(F4/V4)*D(i);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Gráfico
%
%A(i+1)=(1-F/V-d)*A(i)+(qx+qvar*sin((i-1)*pi/26));
%end
%
plot(A), Title('Concentração de poluente fósforo');
grid, xlabel('Semanas'), ylabel('Concetração de poluente (mg/m³)');
hold on
plot(B, 'g');
plot(C, 'c');
plot(D, 'r');

```

[illegible]